

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

DISERTAČNÍ PRÁCE

2025

Kryštof Voleský

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

Tendinopatie Achillovy šlachy

- od evidence po klinickou praxi

Disertační práce

Vedoucí práce:

Doc. MUDr. Ing. Tomáš Větrovský, Ph.D.

Vypracoval:

Mgr. Kryštof Voleský

Praha, červen 2025

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou disertační práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

.....

Mgr. Kryštof Voleský

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému školiteli, doc. MUDr. Ing. Tomášovi Větrovskému, Ph.D., především za možnost realizovat projekt pod jeho vedením a následně za cenné odborné rady a připomínky při zpracování disertačního projektu. Dále bych chtěl poděkovat celému týmu, který se na projektu podílel, a bez kterého by nebylo možné projekt v takové míře realizovat. Jmenovitě bych chtěl poděkovat doc. Jamesovi Tufanovi, Ph.D. za cenné rady k projektu a pomoc v laboratoři fyziologie zátěže. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat kolegovi z FN Motol, Mgr. Jakubovi Katolickému za spolupráci při měření pro projekt. Dále jmenovitě děkuji Mgr. Janu Novákovi, Mgr. Michelovi Jankovi, Javierovi Courel-Ibáñezovi, Ph.D. a doc. Mgr. Michalovi Štefflovi, Ph.D. za pomoc při realizaci disertačního projektu. Na závěr bych chtěl poděkovat své rodině, přátelům a zejména manželce za její podporu a trpělivost během realizace projektu.

Abstrakt

Název Tendinopatie Achillovy šlachy – od evidence po klinickou praxi

Cíle 1. Stanovit test-retest reliabilitu přístroje MyotonPRO pro měření tuhosti Achillovy šlachy in vivo.

2. Porovnat klinickou účinnost excentrického Alfredsonova protokolu s kombinovaným koncentricko-excentrickým protokolem dle Silbernagel u soutěžních sportovců s jednostrannou střední tendinopatií Achillovy šlachy.

3. Popsat krátkodobé biomechanické (tuhost) a strukturální (příčný řez, CSA) adaptace šlachy a jejich vztah k bolesti a funkci (VISA-A).

Metodika Projekt zahrnoval dvě navazující studie.

Studie reliability: Osm zdravých dobrovolníků (medián věku 27 let) absolvovalo standardizovaná měření MyotonPRO ve dvou bodech šlachy s intervaly 10 s, 15 min, 24 h a 14 dnů včetně simulace běžné zátěže a sportu. Statistická analýza byla vyhodnocena výpočtem intraclass korelačních koeficientů pomocí „two-way“ modelu, typu „agreement“ v programu R, balíček irr a plotrix.

Randomizovaná kontrolovaná studie: Dvacet kompetitivních sportovců (medián trvání symptomů 14 měsíců) bylo randomizováno (1:1) do 6týdenního Alfredsonova (excentrického) nebo Silbernagelova (kombinovaného) programu. Primárním výstupem bylo skóre VISA-A; sekundárními HRT, tuhost (MyotonPRO) a CSA (ultrazvuk). Statistická analýza byla provedena nepárovým / párovým t-testem, smíšenými lineárními modely, ANCOVA, ANOVA analýzou a vícenásobnými regresními modely v programu R, funkcí t.test, balíčky lme4, lmerTest, emmeans a car.

Výsledky Studie reliability: Reliabilita pro okamžitá opakovaná měření (10-15 sek.) byla excelentní ICC = 0,97 (0,96–0,98); krátkodobá reliabilita (10-15 min.) byla excelentní ICC = 0,96 (0,93–0,97), reliabilita po 24 hodinách byla dobrá ICC = 0,89 (0,8-0,94), dlouhodobá reliabilita (14 dní) byla dobrá ICC = 0,89 (0,81-0,93). Krátkodobá reliabilita se simulací běžných denních aktivit (10-15 min.) byla dobrá ICC = 0,92 (0,88-0,95), krátkodobá reliabilita se simulací sportu (10-15 min.) byla dobrá ICC = 0,93 (0,89-0,96).

Randomizovaná kontrolovaná studie: Nepárový t-test neodhalil signifikantní rozdíl v efektu mezi skupinami pro žádnou ze sledovaných proměnných. Po sloučení skupin byl proveden párový t-test pro vyhodnocení efektu protokolů v čase (baseline, 6 týdnů): VISA-A skóre se zlepšilo o 17 ± 6 bodů ($p < 0,001$), výponový test se zlepšil o 6 ± 2 opakování (+25 %, $p < 0,001$), tuhost šlachy se zlepšila o $65 \pm 21 \text{ N m}^{-1}$ (+7 %, $p = 0,006$) u tendinopatické končetiny; u zdravé byla beze změny. CSA byla u tendinopatické končetiny beze změn; u zdravé nastal mírný pokles (-3 mm^2). Změny tuhosti ani CSA ani tuhost nebyly asociovány se zlepšením VISA-A (adj. $R^2 < 0,05$).

Závěr Standardizované měření MyotonPRO vykazuje excelentní reliabilitu a je vhodné pro klinické sledování tuhosti Achillovy šlachy. Oba zatěžovací protokoly – Alfredson i Silbernagel – vedou během šesti týdnů k srovnatelnému, klinicky významnému zlepšení bolesti, funkce i mechanických vlastností. Bylo prokázáno zlepšení funkce a zvýšení tuhosti šlachy. Asociace strukturálních a biomechanických změn s klinickým stavem pacienta nebyla prokázána.

Klíčová slova Tendinopatie Achillovy šlachy; MyotonPRO; reliabilita; Alfredson protokol; Silbernagel protokol; VISA-A; tuhost šlachy; výponový test, CSA, ultrazvuk

Abstract

Title Achilles Tendinopathy – from evidence to practice

Objectives 1. Establish the test–retest reliability of the MyotonPRO device for in-vivo measurement of Achilles-tendon stiffness.

2. Compare the clinical efficacy of the Alfredson eccentric protocol with the combined concentric–eccentric Silbernagel protocol in competitive athletes with unilateral mid-portion Achilles tendinopathy.

3. Describe short-term biomechanical (stiffness) and structural (cross-sectional area, CSA) adaptations of the tendon and relate them to pain and function (VISA-A).

Methods The project comprised two linked studies.

Reliability study: Eight healthy volunteers (median age 27 yrs) underwent standardized MyotonPRO measurements at two tendon sites (1 cm and 6 cm proximal to the calcaneal insertion) across intervals of 10 s, 15 min, 24 h and 14 days, including simulated daily-living and sport loads. Statistical analysis was performed by calculating intraclass correlation coefficients with a two-way agreement model in R using the irr and plotrix packages.

Randomized controlled trial: Twenty competitive athletes (median symptom duration 14 months) were randomized (1:1) to a 6-week Alfredson (isolated eccentric) or Silbernagel (progressive combined) programme. Primary outcome was VISA-A; secondary outcomes were single-leg heel-rise repetitions (HRT), tendon stiffness (MyotonPRO) and CSA (ultrasound). Statistical analysis was carried out in R using unpaired/paired t-tests, mixed linear models, ANCOVA, ANOVA, and multiple regression models, implemented with the t.test function and the lme4, lmerTest, emmeans, and car packages.

Results Reliability study: Immediate repeated measurements (10–15 s apart) showed excellent reliability, ICC = 0.97 (95 % CI 0.96–0.98). Short-term reliability after repositioning (10–15 min) was excellent, ICC = 0.96 (0.93–0.97). Reliability at 24 h was good, ICC = 0.89 (0.80–0.94), and long-term reliability over 14 days was good, ICC = 0.89 (0.81–0.93). When short-term retesting was preceded by a simulation

of activities of daily living, reliability was good, ICC = 0.92 (0.88–0.95); after simulated sport loading it was similarly good, ICC = 0.93 (0.89–0.96).

Randomised control trial: An unpaired t-test detected no significant between-group differences for any outcome. After merging both treatment arms, a paired t-test revealed significant within-subject improvements from baseline to week 6: VISA-A increased by 17 ± 6 points ($p < 0.001$), heel-rise test improved by 6 ± 2 (+25 %, $p < 0.001$), and Achilles tendon stiffness in the tendinopathic limb increased by $65 \pm 21 \text{ N m}^{-1}$ (+7 %, $p = 0.006$); the asymptomatic limb showed no stiffness change. Tendon cross-sectional area (CSA) remained unchanged in the symptomatic side and decreased slightly on the healthy side (-3 mm^2). Neither the change in stiffness nor in CSA was associated with the improvement in VISA-A (adjusted $R^2 < 0.05$).

Conclusion Standardized MyotonPRO assessment delivers excellent reliability for Achilles-tendon stiffness and is suitable for clinical monitoring. Both Alfredson and Silbernagel loading protocols elicit comparable, clinically meaningful improvements in pain, function and mechanical properties within six weeks. Improved function and increased tendon stiffness were demonstrated. No association was found between structural or biomechanical changes and the patient's clinical status.

Keywords Achilles tendinopathy; MyotonPRO; reliability; Alfredson protocol; Silbernagel protocol; VISA-A; tendon stiffness; heel-rise test, CSA, sonography

Seznam zkratek

Zkratka	Český název	Anglický název
AŠ	Achillova šlacha	AT – Achilles Tendon
ADL	aktivity denního života	Activities of Daily Living
CoP	centrum tlaku	Centre of Pressure
CSA	příčný řez šlachy	Cross-Sectional Area
CV	koeficient variability	Coefficient of Variation
ECM	extracelulární matrix	Extracellular Matrix
EMG	elektromyografie	Electromyography
FGF-2	fibroblastový růstový faktor 2	Fibroblast Growth Factor-2
GAG	glykosaminoglykan	Glycosaminoglycan
HILT	vysokoenergetická laserová terapie	High-Intensity Laser Therapy
HRT	výponový test na špičkách	Heel-Rise Test
ICC	intrařídni korelační koeficient	Intraclass Correlation Coefficient
IL-1 β	interleukin-1 β	Interleukin-1 beta
IL-6	interleukin-6	Interleukin-6
LOX	lysyl-oxidáza	Lysyl Oxidase
MDC	minimálně detekovatelná změna	Minimal Detectable Change

MMP	metaloproteináza matrix	Matrix Metalloproteinase
MRI	magnetická rezonance	Magnetic Resonance Imaging
MyotonPRO	přenosný myotonometr	—
NGF	nervový růstový faktor	Nerve Growth Factor
RCT	randomizovaná kontrolovaná studie	Randomised Controlled Trial
SEM	standardní chyba měření	Standard Error of Measurement
SM	standardizované měření	Standardised Measurement
SP	simulace sportovních aktivit	Simulation of Sport Activities
STIF	tuhost Achillovy šlachy	Stiffness (Myoton)
TGF- β	transformující růstový faktor β	Transforming Growth Factor-beta
TNF- α	tumor nekrotizující faktor alfa	Tumour Necrosis Factor-alpha
VEGF	vaskulární endoteliální růstový faktor	Vascular Endothelial Growth Factor
VISA-A	dotazník „Victorian Institute of Sport Assessment – Achilles“	—

Obsah

1	ÚVOD.....	1
2	TEORETICKÁ VÝCHODISKA.....	2
2.1	HISTORIE	2
2.2	ANATOMIE	3
2.2.1	<i>M. gastrocnemius</i>	4
2.2.2	<i>M. soleus</i>	4
2.2.3	<i>M. triceps surae</i>	4
2.2.4	<i>N. suralis</i>	5
2.2.5	<i>Achillova šlacha</i>	5
2.3	BIOMECHANIKA	11
2.3.1	<i>Tuhost a pružnost</i>	12
2.3.2	<i>Současné možnosti měření a význam MyotonPRO</i>	13
2.3.3	<i>Vliv kinetiky a kinematiky</i>	14
2.4	BIOCHEMIE A FYZIOLOGIE	15
2.4.1	<i>Kolagen</i>	15
2.4.2	<i>Elastin</i>	16
2.4.3	<i>Extracelulární matrix</i>	17
2.5	PATOLOGIE A TERMINOLOGIE	18
2.5.1	<i>Tendinopatie („Tendinopathy“)</i>	19
2.5.2	<i>Paratendinopatie („Paratendinopathy“)</i>	20
2.6	EPIDEMIOLOGIE	21
2.7	ETIOLOGIE	22
2.7.1	<i>Buněčné změny</i>	22
2.7.2	<i>Teorie zánětu</i>	23
2.7.3	<i>Vaskulární a neurologická teorie</i>	24
2.7.4	<i>Teorie kumulace mikrotraumat</i>	25
2.8	RIZIKOVÉ FAKTORY	26
2.8.1	<i>Nemodifikovatelné rizikové faktory</i>	26
2.8.2	<i>Modifikovatelné rizikové faktory</i>	26
2.8.3	<i>Faktory, které nebyly přímo spojeny se vznikem onemocnění</i>	27
2.8.4	<i>Faktory s nejednoznačnými důkazy</i>	27
2.8.5	<i>Klinicky významné rizikové faktory ve fyzioterapeutické praxi</i>	28
2.9	DIAGNOSTICKÝ ALGORITMUS	29
2.9.1	<i>Anamnéza</i>	29
2.9.2	<i>Klinické vyšetření</i>	30
2.9.3	<i>Zobrazovací vyšetření</i>	31
2.10	KLINICKÝ MANAGEMENT.....	33
2.10.1	<i>VISA-A: Dotazník Victorian Institute of Sport Assessment – Achilles</i>	33
2.10.2	<i>Výponový test (Heel Rise Test – HRT)</i>	34
2.10.3	<i>Praktická doporučení při léčbě</i>	35
2.10.4	<i>Klinická práce založená na evidenci a alternativy</i>	36
2.11	PRIMÁRNÍ PREVENCE	38
2.11.1	<i>Síla</i>	38
2.11.2	<i>Rovnováha</i>	38
2.11.3	<i>Trénink</i>	39
2.11.4	<i>Prostředí</i>	39
2.11.5	<i>Regenerace</i>	39
2.11.6	<i>Celkové zdraví</i>	39
3	CÍLE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA	40
3.1	CÍLE	40
3.2	VÝZKUMNÉ OTÁZKY	40
3.3	HYPOTÉZY	41

4	METODOLOGIE	42
4.1	STUDIE RELIABILITY	42
4.1.1	<i>Design studie</i>	42
4.1.2	<i>Výběr účastníků</i>	43
4.1.3	<i>Experimentální přístup</i>	44
4.1.4	<i>Časové intervaly mezi měřeními</i>	45
4.1.5	<i>Měření tuhosti Achillovy šlachy</i>	46
4.1.6	<i>Standardizované měření</i>	46
4.1.7	<i>Simulace sportovních a denních aktivit</i>	47
4.1.8	<i>Postup měření</i>	49
4.1.9	<i>Statistická analýza dat</i>	50
4.2	RANDOMIZOVANÁ KONTROLOVANÁ STUDIE	51
4.2.1	<i>Design studie</i>	51
4.2.2	<i>Účastníci</i>	51
4.2.3	<i>Zahájení intervence</i>	53
4.2.4	<i>Randomizace a přiřazení intervencí</i>	54
4.2.5	<i>Intervence</i>	54
4.2.6	<i>Měření</i>	55
4.2.7	<i>Statistická analýza dat</i>	58
5	VÝSLEDKY	59
5.1	STUDIE RELIABILITY	59
5.2	RANDOMIZOVANÁ KONTROLOVANÁ STUDIE	62
6	DISKUZE	66
6.1.1	<i>Studie reliability</i>	66
6.1.2	<i>Randomizovaná kontrolovaná studie</i>	68
7	ZÁVĚR	71
7.1.1	<i>Studie reliability</i>	71
7.1.2	<i>Randomizovaná kontrolovaná studie</i>	71
	SEZNAM LITERATURY	72
	SEZNAM PŘÍLOH	78
	PŘÍLOHA 1 – SEZNAM OBRÁZKŮ	78
	PŘÍLOHA 2 – SEZNAM TABULEK	79
	PŘÍLOHA 3 – STUDIE RELIABILITY	80
	PŘÍLOHA 4 – ABSTRAKT, KONFERENCE NORSKO	81
	PŘÍLOHA 5 – VISA-A DOTAZNÍK	83
	PŘÍLOHA 6 – ZAŘÍZENÍ MYOTONPRO.....	89
	PŘÍLOHA 7 – NASTAVITELNÝ STOJAN MYOTONPRO	90
	PŘÍLOHA 8 – PROTOKOL SPORTOVNÍCH AKTIVIT	91
	PŘÍLOHA 9 – ANALÝZA SYSTEMATICKÉ BIAS	92

1 Úvod

Tendinopatie představují jednu z nejčastějších muskuloskeletálních poruch u pohybově aktivní populace. Patří mezi zranění z přetížení, která vznikají nadměrnou opakovanou zátěží kladenou na pohybový aparát. Projevují se bolestí v postižené oblasti, zejména během pohybu, což často výrazně omezuje pohybovou aktivitu a má negativní dopad nejen na fyzické, ale i na psychické zdraví. U řady jedinců se tato porucha může vyvinout do chronické formy, se kterou se potýkají měsíce i roky, což významně ovlivňuje jejich kvalitu života.

Vzhledem k dlouhodobým dopadům tendinopatií je klíčová přesná diagnostika a efektivní terapie. V posledních letech došlo v této oblasti k zásadnímu pokroku – diagnostiku usnadnil rozšířený přístup k ultrazvukovým zobrazovacím metodám v muskuloskeletální medicíně, zatímco rozsáhlé randomizované studie potvrdily pozitivní vliv cíleného cvičení na léčbu těchto poruch. Vedle toho roste zájem o prevenci a identifikaci rizikových faktorů tendinopatií, což otevírá nové možnosti pro prevenci a vytváření doporučení na podporu zdraví šlach u pohybově aktivní populace.

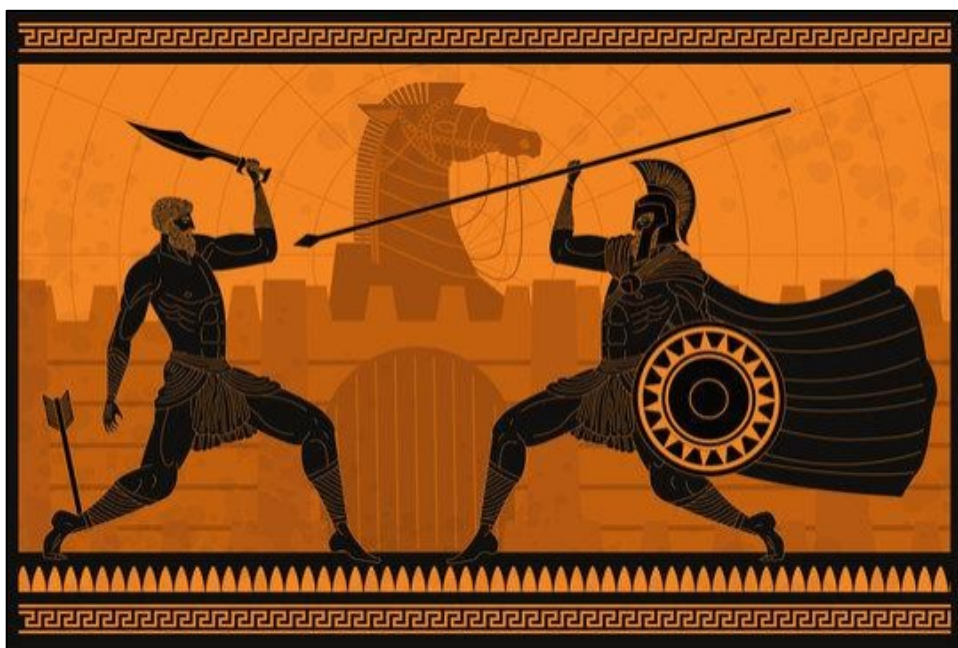
Pro efektivní spolupráci lékařských i nelékařských odborníků v diagnostice a následné péči je nezbytné sjednocení terminologie a kontinuální vzdělávání v oblasti tendinopatií.

Cílem této práce je prohloubit poznatky o léčbě tendinopatií Achillovy šlachy se zaměřením na funkční, úroveň bolesti, biomechanické vlastnosti a strukturální změny šlachy. Získané poznatky přispějí k rozšíření vědeckého poznání v oblasti klinického výzkumu a fyziologie zátěže pohybového aparátu.

2 Teoretická východiska

2.1 Historie

Achillova šlacha získala své jméno podle legendárního hrdiny řeckých bájí Achilla (viz. Obrázek 1). Poprvé ji takto označil nizozemský chirurg Philip Verheyen v roce 1693, jak dokládají zachované historické materiály. (Kirkup 1991) Před tímto obdobím byla známá pod názvem „tendo magnus“, přičemž se předpokládá, že tento termín zavedl Hippokrates. (Raynal 1883)



Obrázek 1. Původ užívaného názvu pro „tendo calcaneus“ pramenící z řecké mytologie.

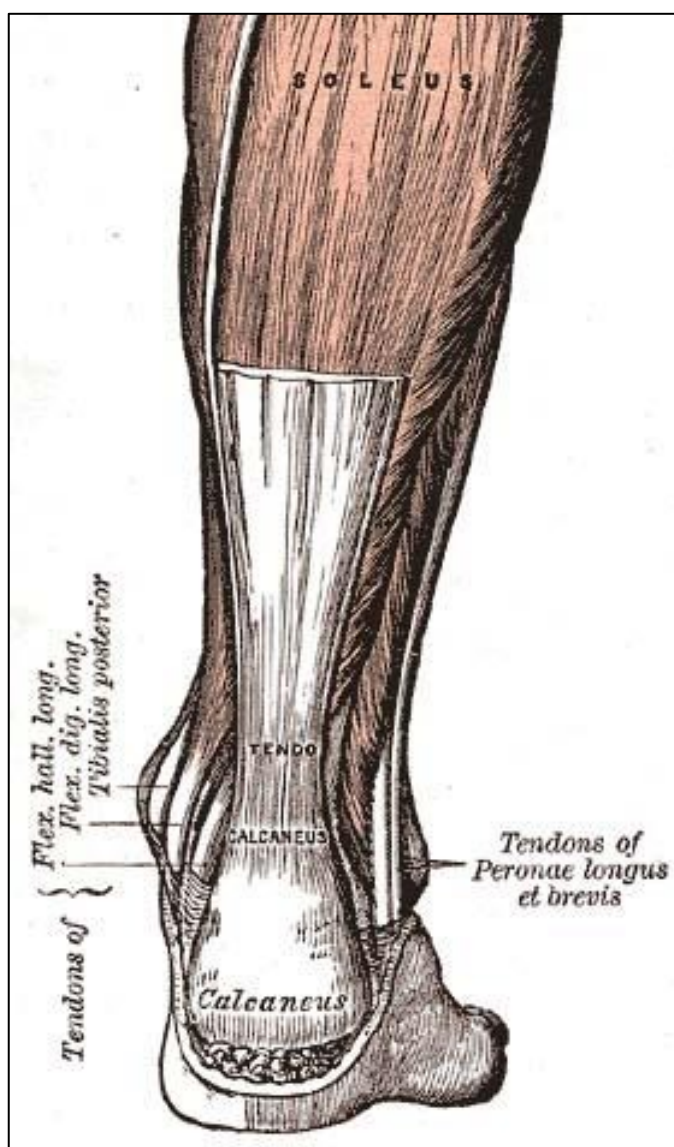
První zdokumentovaný případ onemocnění Achillovy šlachy, konkrétně „cellulite petitendineuse Achillovy šlachy“, pochází z roku 1883 a byl popsán Raynaelem. O dvě dekády později, v roce 1905, Schanz popsal první traumatický zánět této šlachy. Uvedl, že příčinou bylo chronické přetěžování. (Schanz 1905)

Tento vývoj postupoval dále a s ním rostlo i porozumění významu Achillovy šlachy a problémů, které s ní souvisejí. Nicméně, s postupem času se začalo objevovat stále více různých označení pro poruchy spojené s touto šlachou. To vedlo k tomu, že orientace v této problematice a její terminologie se stávala stále složitější a bohužel často i nepřehledná a zmatečná.

2.2 Anatomie

Achillova šlacha je nejširší a nejsilnější šlacha v lidském těle. (Bossley et al. 2000) Začíná přibližně uprostřed lýtky, kde je proximální část šlachy navazuje na musculus gastrocnemius. Musculus soleus se k Achillově šlaše připojuje ve střední části těla šlachy. Celá struktura je anatomicky lokalizována v posteriorním kompartmentu dolní končetiny. (viz. Obrázek 2)

Inervaci a cévní zásobení Achillovy šlachy zajišťují složky posteriorního kompartmentu. Klíčovou roli hrají nervus tibialis a krevní zásobení zajišťují arteria tibialis posterior a arteria peronealis, případně jejich větve. Tyto struktury umožňují správnou funkci šlachy a umožňují její regeneraci. (Doral et al. 2010)



Obrázek 2. Anatomie „tendo calcaneus“ – Achillova šlacha.

2.2.1 M. gastrocnemius

M. gastrocnemius je vřetenovitý sval, který tvoří nejpovrchovější vrstvu svalů na zadní straně lýtku a dodává mu jeho charakteristický tvar. Mediální hlava tohoto svalu začíná na fossa poplitea femoris, crista supracondylaris posterior et medialis a tuberculum adductorium femoris. Laterální hlava, která je o něco kratší než mediální, má svůj počátek na epicondylus lateralis femoris, fossa intercondylaris a linea aspera.

Obě hlavy m. gastrocnemius procházejí posteriorně přes kolenní kloub, což umožňuje jejich zapojení do pohybů nejen v oblasti kotníku, ale také kolene. Sval tak přispívá k flexi dolní končetiny v kolenním kloubu a plantární flexi v hlezenním kloubu. Zajímavostí je, že v laterální hlavě tohoto svalu se zřídka vyskytuje sezamská kůstka zvaná fabella, jejíž přítomnost je individuální. (Watanabe et al. 1993)

2.2.2 M. soleus

M. soleus je velký, široký sval, který se nachází hlouběji pod m. gastrocnemius a tvoří významnou část zadního svalstva lýtku. Svůj začátek má na linea obliqua tibiae, membrana interossea cruris a na posteriorní proximální části fibuly. Na rozdíl od m. gastrocnemius, jehož působení ovlivňuje jak kotník, tak kolenní kloub, je síla m. soleus zaměřena výhradně na hlezenní kloub, kde umožňuje plantární flexi nohy. Tento sval hraje klíčovou roli při stabilizaci stoje a při chůzi, zejména při udržování rovnováhy během klidového stání. (Cummins and Anson 1946)

2.2.3 M. triceps surae

M. gastrocnemius a m. soleus společně tvoří tříhlavý sval lýtkový (m. triceps surae), který je hlavním plantárním flexorem dolní končetiny. Tento svalový celek se upíná na kost patní, konkrétně na tuberositas calcanei, pomocí Achillovy šlachy. Díky této unikátní anatomické struktuře má m. triceps surae klíčovou úlohu při pohybu a stabilizaci kotníkového kloubu, zejména při chůzi, běhu a skákání. Společná funkce obou svalů zajišťuje jejich efektivní zapojení při přenosu síly z dolní končetiny na patní kost, což umožňuje přenos síly dolních končetin do podložky. (Doral et al. 2010)

2.2.4 N. suralis

N. suralis je tvořen větvemi n. tibialis a n. peroneus communis. Po svém formování, ke kterému dochází v proximální části lýtky, se nerv nachází na laterální hranici Achillovy šlachy. Průměrně přechází n. suralis přes Achillovu šlahu mediálně, přibližně 11 cm proximálně od tuberositas calcanei a 3,5 cm distálně od místa, kde dochází k muskulo-tendinóznímu spojení m. gastrocnemius s Achillovou šlachou. Tato anatomická poloha je důležitá nejen z hlediska anatomie, ale také v klinickém kontextu, například při chirurgických výkonech v této oblasti nebo při diagnostice poranění a neurologických stavů, které mohou tento nerv ovlivnit. (Citak et al. 2007)

2.2.5 Achillova šlacha

Délka Achillovy šlachy se pohybuje v rozsahu 11 až 26 cm. Její šířka se mění v závislosti na anatomické lokalizaci: v proximální části dosahuje 4,5 až 8,6 cm, směrem distálně se ve střední části zužuje na 1,2 až 2,6 cm, a v místě inserce na tuberositas calcanei se opět rozšiřuje na 2 až 4,8 cm. (Apaydin et al. 2009) Tyto rozměry odrážejí její adaptaci na vysoké mechanické zatížení, které při běžném pohybu i při intenzivní pohybové aktivitě přenáší.

Relativní podíl svalových vláken, která se na tvorbě Achillovy šlachy podílejí, se liší mezi jedinci. U přibližně 50 % lidí je poměr vláken 52:48 ve prospěch m. soleus. U 35 % je zastoupení symetrické, zatímco u 13 % převažuje m. gastrocnemius s poměrem 60:40. Tento variabilní poměr může ovlivnit biomechaniku a funkci šlachy, což je důležité při zohlednění individualizovaných přístupů v rehabilitaci či při chirurgických zákrocích. (Cummins and Anson 1946)

2.2.5.1 Spirálovitost vláken šlachy

Vlákná Achillovy šlachy nejsou uspořádána striktně vertikálně, ale vykazují spirálovité uspořádání, jehož úhel se může lišit mezi jednotlivci. Spirálovitá orientace začíná v oblasti fúze vláken m. gastrocnemius a m. soleus. Toto specifické uspořádání umožňuje šlaše lépe odolávat vysokým mechanickým silám, které na ni působí během pohybu.

Tendinózní vlákna m. gastrocnemius se upínají postero-laterálně na calcaneus, zatímco vlákna m. soleus se připojují postero-mediálně. Míra rotace vláken šlachy je ovlivněna výškou, ve které dochází ke spojení obou svalových složek. Čím níže k fúzi dochází, tím větší rotace vláken je pozorována. Tato adaptace může hrát významnou roli ve funkční biomechanice šlachy, protože spirálovitá struktura umožňuje efektivní přenos síly a lepší odolnost proti mechanickému zatížení. Tato charakteristika zároveň přispívá k elasticitě šlachy a její schopnosti adaptovat se na různé typy pohybu. (Apaydin et al. 2009)

2.2.5.2 Calcaneální inzerce

Calcaneální inzerce Achillovy šlachy je vysoce specializovaná anatomická struktura, označovaná jako úponový orgán. Je přizpůsobena tak, aby efektivně rozptylovala mechanické zatížení přenášené ze šlachy na kost, čímž minimalizuje riziko poškození. Tento úponový orgán je tvořen komplexním spojením Achillovy šlachy s calcaneem, sesamoidní fibrochrupavkou, fibrochrupavkou pokrývající periost horní části tuberositas calcanei a špičkou Kagerova tukového tělesa. (Shaw et al. 2008)

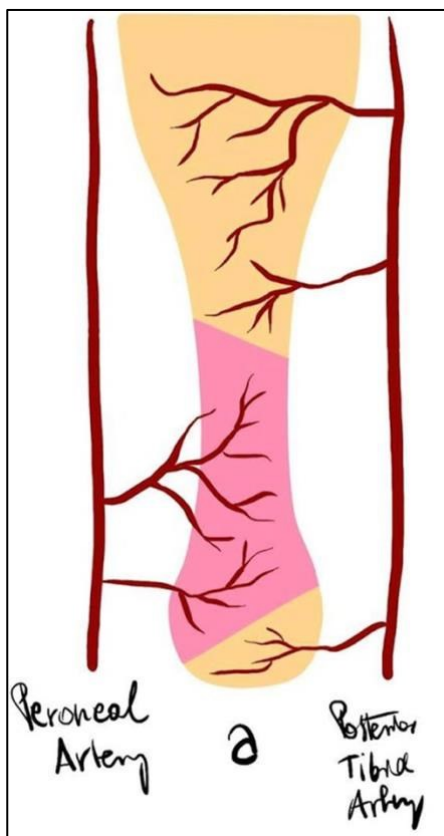
Fibrózní spojení Kagerova tukového tělesa s Achillovou šlachou zajišťuje její proximální stabilizaci. V distální části se nachází retrocalcaneální bursa, která je lokalizována mezi Achillovou šlachou a posteriorním povrchem calcanea. Tato bursa obvykle obsahuje anteriorní fibrochrupavkovou přepážku a posteriorně přechází do epitenonu šlachy. Méně častá je druhá bursa, která se nachází povrchněji, inferiorně, mezi povrchem calcanea a začátkem plantární aponeurózy.

Mediálně, v hloubce vůči fascii a anteriornímu povrchu Achillovy šlachy, je uložen m. flexor hallucis longus. Tento sval ve spolupráci se stabilizací poskytovanou Kagerovým tukovým tělesem přispívá ke stabilizaci samotné Achillovy šlachy během funkce plantárních flexorů a mechanické zátěže šlachy.

Tvar calcaneální inzerce je široký a připomíná deltu, přičemž dochází k mírnému rozšíření šlachy těsně před jejím spojením s kostí. Toto rozšíření je dalším ochranným mechanismem, který napomáhá rovnoměrnému rozložení síly a zvyšuje odolnost úponu vůči vysokému mechanickému zatížení během pohybu. (Doral et al. 2010)

2.2.5.3 Cévní zásobení

Cévní zásobení Achillovy šlachy je zajištěno třemi hlavními zdroji: cévami zasobujícími muskulotendinózní spojení, cévami okolní pojivové tkáně a cévami zasobujícími spojení šlachy s kostí. Hlavním zdrojem je větev arteria tibialis posterior, která primárně zásobuje peritendinózní tkáň. Dalším zdrojem je arteria peronealis, která skrze anastomózy lehce přispívá k cévnímu zásobení. Naopak, arteria tibialis anterior se na zásobování šlachy nepodílí.



Obrázek 3. Cévní zásobení – Achillova šlacha.

Vaskularizace střední části šlachy je relativně slabá, což činí tuto oblast náchylnější k degenerativním změnám a poraněním. Krevní zásobení této části zajišťují cévy z bohatě vaskularizovaného paratenonu, které procházejí anteriorním povrchem šlachy. Proximální část šlachy dostává dodatečné cévní zásobení přímo z cévního systému svalů, m. gastrocnemius a m. soleus. Distální část šlachy, která zahrnuje oblast úponu a sahá přibližně 2 cm proximálně od tuberositas calcanei, je zásobována větvemi arteria fibularis a arteria tibialis posterior. (viz. Obrázek 3)

Obecné dělení cévního zásobení Achillovy šlachy:

1. Proximální část je bohatě zásobena větvemi arteria tibialis posterior.
2. Střední část má slabší cévní zásobení a je zásobována převážně z arteria peronealis a paratenonu.
3. Distální část, která zahrnuje inzerční oblast na calcaneus, je zásobována převážně větvemi arteria tibialis posterior a arteria fibularis.

Toto komplexní cévní zásobení je zásadní pro správnou funkci a regeneraci šlachy, přičemž slabší vaskularizace střední části může vysvětlovat vyšší incidenci poranění a degenerativních změn právě v této oblasti. (Shaw et al. 2008)

2.2.5.4 Inervace

Achillova šlacha je inervována nervovými vlákny přicházejících ze svalů, tak z kůže. Hlavními nervy zajišťujícími její inervaci jsou n. suralis a n. tibialis. Nervová zakončení v této oblasti se spojují do podélného řetězce, který je převážně tvořen aferentními (senzorickými) vlákny. Tato vlákna hrají klíčovou roli v přenosu senzorních informací, které jsou nezbytné pro propriocepci a ochranu šlachy před přetížením.

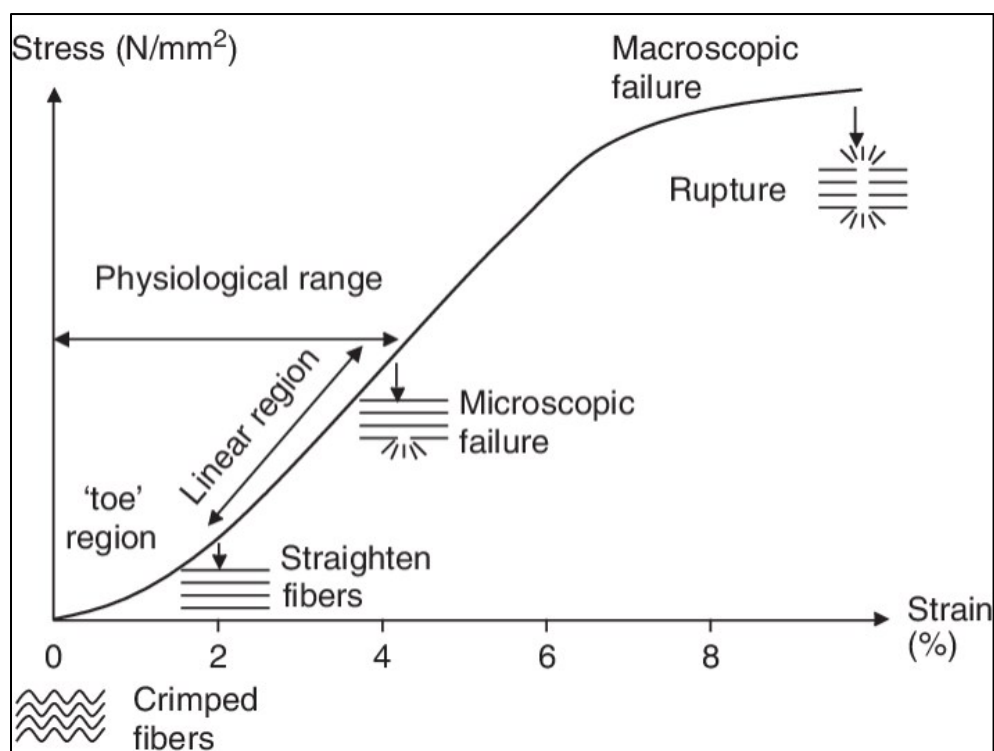
Aferentní receptory jsou rozmístěny převážně v blízkosti nervových vláken a zahrnují všechny hlavní typy receptorů:

- Ruffiniho tělíska, která reagují na tlak a tah
- Vater-Paciniho tělíska, fungující jako proprioceptory vnímající vibrace a změny tlaku
- Golgiho tělíska, která jsou mechanoreceptory detekující změny napětí
- Volná nervová zakončení, která jsou zodpovědná za přenos bolestivých podnětů

Tato síť nervových zakončení a receptorů umožňuje Achillově šlase vykonávat nejen svou mechanickou funkci, ale také zajišťuje její roli v percepci napětí, polohy a potenciálního poškození. Proprioceptivní informace ze šlachy jsou klíčové pro koordinaci pohybu. (Doral et al. 2010)

2.3 Biomechanika

Achillova šlacha nese značné mechanické zatížení při aktivitách, jako je chůze, běh nebo skoky. Síly působící na Achillovu šlachu mohou dosahovat až desetinásobku hmotnosti lidského těla. (Dederer and Tennant 2019) Jako primární spoj svalů lýtky (m. triceps surae) a nohy (calcaneus) přenáší Achillova šlacha síly produkované zadním svalovým řetězcem dolní končetiny, které zajišťují propulzi a kontrolu pohybu v kotníku (plantární a dorzální flexi).



Obrázek 4. Křivka napětí a deformace šlachy.

2.3.1 Tuhost a pružnost

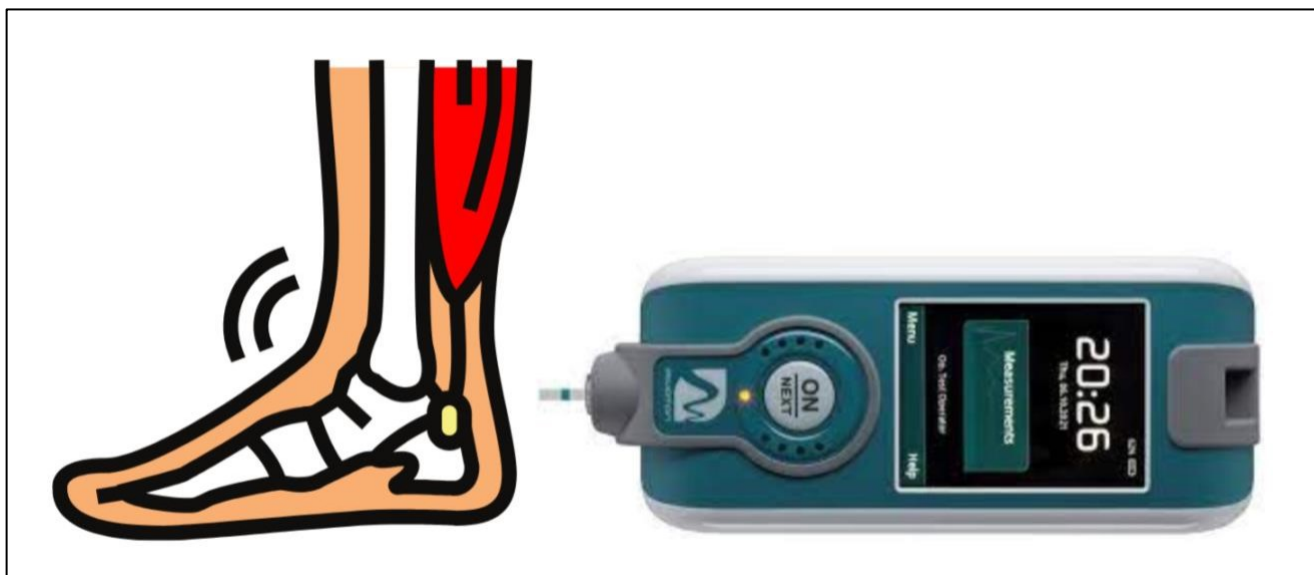
Tuhost označuje schopnost šlachy odolávat deformaci při působení stresu, zatímco pružnost (elasticita) se týká její schopnosti vrátit se do původního tvaru po natažení nebo stlačení. V kontextu Achillovy šlachy jsou tyto mechanické vlastnosti nezbytné pro efektivní lokomoci. Vysoká tuhost šlachy může zvýšit efektivitu přenosu energie během běhu, což umožňuje větší akumulaci elastické potenciální energie a její následné uvolnění během fáze odrazu v chůzi. (Arya and Kulig 2010)

Obecně může u šlachy dojít k prodloužení až o 4 % bez jakéhokoliv poškození. (viz. Obrázek 4) Pokud je však odpor proti prodloužení nedostatečný, prodloužení mezi 4 % a 8 % může vést k narušení kolagenových vazeb. To může způsobit strukturální změny přispívající k rozvoji tendinopatie. Pokud prodloužení přesáhne kritickou mez (nad 8 %), mohou kolagenní vlákna podstoupit makroskopické selhání, což může vést k ruptuře Achillovy šlachy a úplné ztrátě funkce. (Wang 2006)

Optimální rovnováha mezi tuhostí a pružností je klíčová, nedostatečná tuhost a pružnost může zhoršit efektivitu přenosu síly a akumulaci elastické potenciální energie ze svalu na kost. (Lichtwark and Wilson 2008) Studie prokazují, že stavy, jako je tendinopatie Achillovy šlachy, jsou spojeny se sníženou tuhostí a změněnými elastickými vlastnostmi, což ovlivňuje funkční výkon. (Chang and Kulig 2015)

2.3.2 Současné možnosti měření a význam MyotonPRO

Přesný popis mechanických vlastností Achillovy šlachy je v klinické praxi dlouhodobě problematický. Ultrazvuková elastografie sice umožňuje kvantifikaci deformace, avšak výsledky jsou ovlivněny nastavením softwaru, zkušeností operátora a obtížně se standardizují mezi laboratořemi. Dynamometrické nebo izokinetické měření síly zohledňuje svalově-šlachovou jednotku, ale nelze z něj přímo odvodit biomechanické parametry šlachy.



Obrázek 5. Zařízení MyotonPRO.

Přenosný přístroj MyotonPRO poskytuje objektivní, a při standardizaci měření snadno opakovatelné měření tuhosti (N/m) přímo in vivo. Krátký mechanický impuls vyvolá oscilaci tkáně a z dekrementu kmitů se vypočítá tuhost i viskoelastická. Přístroj minimalizuje vliv operátora (jednoduchá kolmá aplikace sondy), jedná se o standardizované zatížení (impuls 0,4 N, délka 15 ms), které umožňuje sledovat dynamiku změn tuhosti Achillovy šlachy i během dlouhodobé intervence. (viz. Obrázek 5)

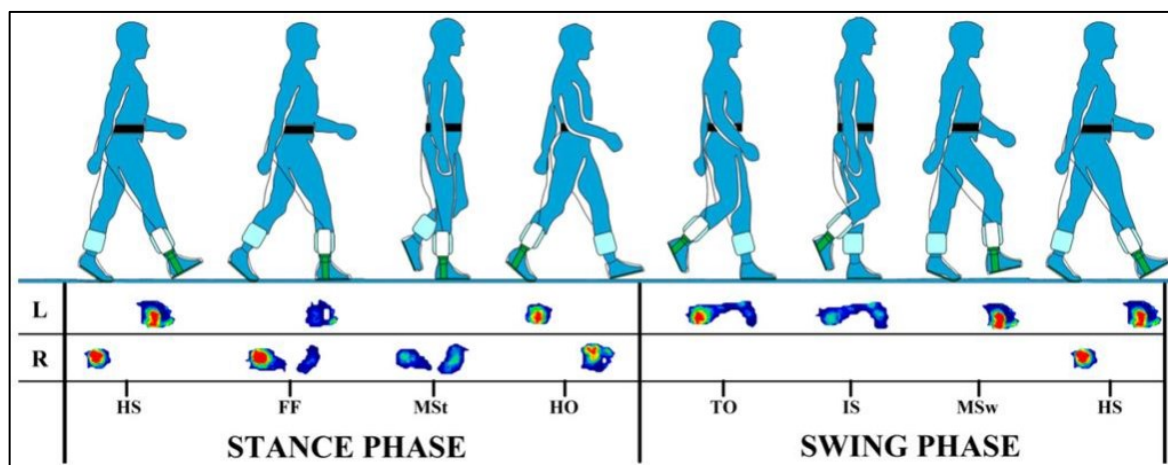
Právě nedostatečná spolehlivost stávajících metod a potřeba kvantitativního biomarkeru pro klinické studie je hlavním důvodem formulace výzkumné otázky a cíle 1: ověřit test-retest reliabilitu MyotonPRO při standardizovaném měření Achillovy šlachy.

2.3.3 Vliv kinetiky a kinematiky

Biomechanika Achillovy šlachy je ovlivněna jak kinetickými, tak kinematickými faktory během lokomoce. Kinetika zahrnuje síly působící na pohybový aparát a šlachu, zatímco kinematika studuje pohyb jednotlivých částí těla. (viz. Obrázek 6) Klíčové kinematické parametry ovlivňující Achillovu šlachu zahrnují rozsah pohybu hlezenního kloubu, inverzi/everzi a plantární/dorzální flexi nohy. (Donoghue et al. 2008; Ryan et al. 2009)

Klíčové kinetické parametry ovlivňující Achillovu šlachu zahrnují rozložení sil působící na nohu během lokomoce. Výslednice reakčních sil podložky působících na nohy ve stejné fázi lokomoce je označována jako centrum tlaku (CoP - center of pressure). Analýza CoP poskytuje informace o vlivu typu došlapu na zatížení Achillovy šlachy a zároveň umožňuje kvantifikaci kontroly pohybu v oblasti nohy prostřednictvím odchylek její trajektorie. (Van Ginckel et al. 2009)

Dalším mechanismem ovlivňujícím biomechaniku Achillovy šlachy je „windlass mechanismus“ chodidla. Tento mechanismus zahrnuje plantární fascii, která se napíná během terminální fáze chůze, čímž podporuje podélnou klenbu. Interakce mezi Achillovou šlachou a plantární fascií stabilizuje nohu při odrazu a přispívá k celkové efektivitě lokomoce. (Cheng et al. 2008)



Obrázek 6. Kinetika a kinematika chůze.

2.4 Biochemie a fyziologie

Biochemické procesy Achillovy šlachy jsou primárně orientovány na metabolismem kolagenu, elastinu a extracelulární matrix (ECM).

2.4.1 Kolagen

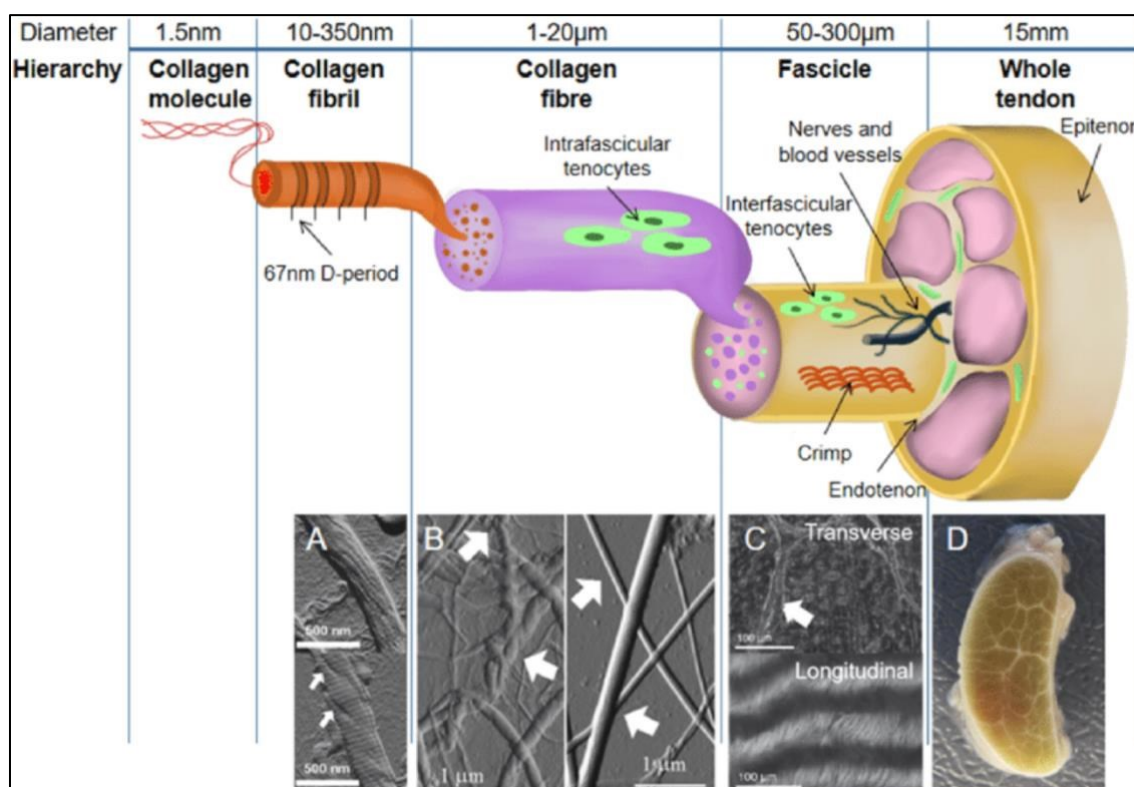
Převládajícím strukturálním proteinem Achillovy šlachy je kolagen typu I, který zajišťuje pevnost v tahu a hraje klíčovou roli v udržení integrity šlachy při mechanickém zatížení. (viz. Obrázek 7) Po poranění nebo degeneraci šlachy dochází ke změně metabolismu kolagenu, což často vede ke zvýšené produkci kolagenu typu III, který je typicky spojen s procesy remodelace a opravy tkáně. (Maffulli et al. 2000) Tato změna ve složení kolagenu je významná, protože kolagen typu III má odlišné mechanické vlastnosti a je méně organizovaný než kolagen typu I. (Karousou et al. 2008)

Důležitou roli v regulaci metabolismu kolagenu ve šlaše hrají matrixové metaloproteinázy (MMPs). Tyto enzymy usnadňují degradaci složek ECM a jejich aktivita je regulována tkáňovými inhibitory metaloproteináz (TIMPs), aby byla zachována rovnováha mezi syntézou a degradací kolagenu. (Karousou et al. 2008) Výzkumy ukazují, že během hojení šlachy jsou buněčné aktivity ovlivněny různými signálními mechanismy, včetně exprese mikroRNA specifických pro šlachy a genů souvisejících s ECM, jako je osteopontin a dermatopontin. Tyto faktory jsou nezbytné pro dediferenciaci fibroblastů šlachy a vytvoření adekvátní reparativní odpovědi. (Omoto et al. 2022)

Z metabolického hlediska jsou buňky šlachy (tenocyty) zodpovědné za syntézu kolagenu a dalších složek ECM, avšak jejich kapacita může být narušena patologickými stavy, což vede ke změnám hojivé odpovědi. (Disser et al. 2019) Zvýšená metabolická aktivita, zejména po poranění, byla spojena se zvýšenými koncentracemi metabolitů, jako je kyselina mléčná a kyselina glutamová, během procesu opravy šlachy. (Greve et al. 2012)

2.4.2 Elastin

Metabolismus elastinu je důležitým aspektem biochemického složení Achillovy šlachy, neboť přispívá k jejím elastickým vlastnostem a celkové funkčnosti. Elastin, který se primárně vytváří ve formě tropoelastinu, je syntetizován tenocyty a následně secernován do extracelulární matrix (ECM), kde podstupuje zesíťování, čímž vznikají elastická vlákna zajišťující pružnost a odolnost šlachy. (Kothapalli et al. 2009)



Obrázek 7. Mikrostruktura šlachy.

Rychlost metabolismu elastinu je výrazně nižší než u kolagenu, což ovlivňuje regenerační potenciál šlachy po poranění. Různé růstové faktory, jako Transformující růstový faktor beta (TGF- β), hrají klíčovou roli v podpoře syntézy elastinu a jeho ukládání v ECM. (Wang et al. 2000) Enzymy, jako je lysyl oxidáza, jsou zásadní pro zesíťování tropoelastinových molekul, což posiluje elastinovou síť v šlaše. (Nishizaki 2018)

Narušení metabolismu elastinu může vést ke změnám mechanických vlastností šlachy a ke zvýšené náchylnosti k poraněním, jako je tendinopatie Achillovy šlachy. Stárnutí, patologické stavy a metabolické nerovnováhy mohou negativně ovlivnit syntézu a degradaci elastinu, což vede k narušení elastické matrix, která je zásadní pro fyziologickou funkci Achillovy šlachy. (Kothapalli and Ramamurthi 2009)

2.4.3 Extracelulární matrix

Extracelulární matrix (ECM) Achillovy šlachy je složitá síť tvořená kolageny, proteoglykany, glykosaminoglykany (GAGs) a glykoproteiny, které společně přispívají k její strukturální integritě a funkčním vlastnostem.

Proteoglykany se skládají z centrálního proteinu s jedním nebo více připojenými řetězci GAGs; hrají klíčovou roli v udržování hydratace, poskytování strukturální podpory a modulaci dostupnosti růstových faktorů. Například decorin, významný proteoglykan ve šlaše, interaguje s kolagenními vlákny a reguluje kolagenní fibrilogenezi, čímž ovlivňuje mechanické vlastnosti šlachy. (Arampatzis, Karamanidis, and Albracht 2007)

GAGs, jako je kyselina hyaluronová a chondroitin sulfát, přispívají k viskoelastickým vlastnostem ECM, což umožňuje šlaše odolávat kompresním silám a zároveň si zachovat flexibilitu. Glykoproteiny, například fibronectin a laminin, jsou nezbytné pro adhezi buněk, jejich migraci a vzájemnou komunikaci; tvoří spojení mezi ECM a buněčnými složkami, čímž zajišťují adekvátní reakci šlachy na mechanické podněty. (Arya and Kulig 2010)

2.5 Patologie a terminologie

V roce 1976 bylo poprvé navrženo rozdělení patologických procesů Achillovy šlachy na základě histologických nálezů. Tato klasifikace zahrnovala tři hlavní kategorie: peritendinitidu, peritendinitidu s tendinózou a čistou tendinózu. (Perugia, Ippolito, and Postacchini 1976)

V následujících letech se diskuze zaměřila na terminologii, lokalizaci poruch a samotnou nomenklaturu spojenou s Achillovou šlachou. (Fry 1986) Až v roce 1993 přinesli Clain a Baxter významný pokrok, když definice „tendinitidy“ Achillovy šlachy rozdělili na dvě základní formy – inserční a neinserční. (Clain and Baxter 1992)

Další posun nastal v roce 1998, kdy Maffulli navrhl změnu nejednoznačné a často matoucí terminologie. Doporučil, aby termíny jako „tendinóza“, „paratendinitida“ a „tendinitida“ byly používány pouze na základě výsledků biopsie. Pro klinickou praxi navrhl zavedení přehlednějších označení, konkrétně „tendinopatie“, „paratendinopatie“ a „pantendinopatie“, která lépe vystihují různé patologické stavy Achillovy šlachy. (Maffulli 1998)

Tato postupná evoluce názvosloví odráží snahu odborné veřejnosti o větší přesnost a jednotnost v terminologii poruch Achillovy šlachy. Zároveň zdůrazňuje stále rostoucí potřebu zavedení jednotného a jasného názvosloví, které by minimalizovalo nedorozumění nejen mezi odborníky, ale také při komunikaci kliniků s pacienty.

2.5.1 Tendinopatie („Tendinopathy“)

2.5.1.1 *Tendinopatie střední části šlachy („Mid-portion Achilles tendinopathy“)*

Tendinopatie střední části Achillovy šlachy se nachází v anatomické oblasti 2–7 cm nad jejím úponem do patní kosti (calcanea). Projevuje se typicky bolestí, otokem a poruchou funkce šlachy, přičemž klinicky je často pozorováno lokalizované rozšíření postižené oblasti. (viz. Obrázek 8)

Tento stav není striktně definován histopatologickými změnami, ale při histologickém vyšetření mohou být zjištěny dva hlavní typy postižení: degenerace tkáně šlachy, označovaná jako „tendinóza“ („tendinosis“), nebo akutní zánět tkáně, známý jako „tendinitida“ („tendinitis“). (Van Dijk et al. 2011)

2.5.1.2 *Tendinopatie inzerční části šlachy („Insertional Achilles tendinopathy“)*

Tendinopatie inzerční části Achillovy šlachy je lokalizována v oblasti jejího úponu na patní kost (calcaneus). Tento stav je často spojen s přítomností kalcifikací šlachy v místě jejího úponu. (viz. Obrázek 8)

Mezi hlavní příznaky patří bolest, ztuhlost a otok, přičemž bolest je klinicky obvykle lokalizována posteriorně ve střední části patní kosti. Stav bývá doprovázen omezením funkce, zejména při aktivitách, které zahrnují zatížení Achillovy šlachy, jako je chůze, běh nebo stání na špičkách.

Z histopatologického hlediska lze často nalézt osifikace, mikro ruptury šlachy a degenerativní změny v oblasti přechodu mezi šlachou a kostí. Tyto nálezy odrážejí často chronický charakter postižení. (Van Dijk et al. 2011)



Obrázek 8. Tendinopatie inzerční/střední porce šlachy.

2.5.2 Paratendinopatie („Paratendinopathy“)

2.5.2.1 Paratendinopatie – akutní

Akutní paratendinopatie se anatomicky lokalizuje v oblasti kolem střední části Achillovy šlachy. Jedná se o zánětlivý proces postihující paratenon, což je tkáň obklopující šlachu.

Typickými příznaky jsou otok a zarudnutí (hyperemie) postižené oblasti. Klinicky je možné pozorovat otok a palpovatelný crepitus, tedy třecí zvuky nebo pocit tření při pohybu šlachy, které jsou způsobeny zánětlivými změnami.

Z histopatologického hlediska se tento stav vyznačuje otokem a hyperemií paratenonu, často doprovázenou infiltrací zánětlivých buněk. V některých případech dochází k tvorbě fibrinózního exsudátu, který může vyplňovat prostor mezi šlachovou pochvou a tělem šlachy. Tato akumulace může dále zhoršovat pohyblivost šlachy a přispívat k bolesti a dysfunkci.

Akutní paratendinopatie vyžaduje rychlou diagnostiku a léčbu zaměřenou na redukci zánětu a prevenci vzniku chronických komplikací, které by mohly vést k dlouhodobému omezení funkce šlachy. (Van Dijk et al. 2011)

2.5.2.2 Paratendinopatie – chronická

Chronická paratendinopatie se anatomicky nachází v oblasti střední části Achillovy šlachy, postihuje okolní paratenon. Hlavními příznaky jsou bolesti, které se zhoršují při pohybové aktivitě nebo cvičení, a přetrvávající iritace v oblasti šlachy. Klinicky bývá patrný lehký otok a crepitus – charakteristický třecí zvuk nebo pocit, který vzniká při pohybu šlachy a svědčí o přítomnosti patologických změn v jejím okolí.

Z histopatologického pohledu je tento stav charakterizován rozšířením paratenonu v důsledku akumulace fibrinózního exsudátu. Dochází k výrazné proliferaci (myo)fibroblastů, což vede k tvorbě nové pojivové tkáně. Tento proces často způsobuje vznik adhezí mezi tělem šlachy, její pochvou a crurální fascií, čímž je významně omezena pohyblivost šlachy a okolních struktur. (Van Dijk et al. 2011)

2.6 Epidemiologie

Data pro epidemiologii jsou značně ovlivněna samotnou diagnostikou. Většina dat je nabírána pomocí dotazníků bez objektivních metod testování, jako jsou zobrazovací metody nebo biopsie. Z toho vyplývá možnost vysoké míry ovlivnění výsledků pro nedostatečně použitou diferenciální diagnostiku.

Epidemiologická data, tak lze spíše vnímat, jako informaci o lokalizaci obtíží u pacientů v populaci. S informacemi k jednotlivým sportům o exponovaných šlachách v daném sportu nebo specializaci.

Podle systematické rešerše a meta-analýzy je obecně prevalence tendinopatie Achillovy šlachy u sportovců 6 %. V gymnastice je tato prevalence relativně vysoká, dosahuje 17 %. Vyšší výskyt je také zaznamenán u jedinců starších 45 let, kde dosahuje 8 %, zatímco u osob mladších 18 let je prevalence nižší, a to pouhých 2 %. Mezi pohlavími nebyl identifikován statisticky významný rozdíl ve výskytu tendinopatie. (Wang et al. 2022)

U běžců tvoří tendinopatie 10-33 % ze všech zranění. Epidemiologické studie tento fakt spojují s neadekvátní zátěží. (Sobhani et al. 2013)

V populaci běžců bylo rozložení typů tendinopatie Achillovy šlachy následující: 64 % případů tvořila tendinopatie střední porce, 28 % tendinopatie inzerční porce a 8 % případů představovala kombinovaná tendinopatie. (Chen et al. 2024)

2.7 Etiologie

Tendinopatie Achillovy šlachy je charakterizována spektrem patologických změn, které se vyskytují v těle šlachy a často vedou k bolesti, ztuhlosti a funkčnímu omezení. Porozumění mechanismům, které se na tomto stavu podílejí, přispívá k efektivnější prevenci a léčbě. Následující podkapitoly se zabývají aspekty patoetiologie tendinopatie, včetně buněčných změn, teorie zánětu, vaskulární teorie, neurologické teorie a kumulativních účinků mechanického mikrotraumatu v průběhu času.

2.7.1 Buněčné změny

U tendinopatie dochází k významným buněčným změnám, které ovlivňují jak populaci tenocytů, tak i extracelulární matici (ECM). Histologicky je pozorován nárůst hypercelularity tenocytů, což odráží patologickou odpověď na mechanické přetížení a poranění. Tyto tenocyty často vykazují nepravidelnější a zaoblenější morfolonii ve srovnání se zdravými buňkami šlachy. (Olewnik et al. 2016) Tato dysregulace je doprovázena změněnou syntézou kolagenu a posunem v jeho složení: v degenerovaných šlachách bývá běžně zaznamenáno zvýšení hladiny kolagenu typu III a snížení kolagenu typu I. (Jeong et al. 2018) Dále dochází ke změnám v ECM, které se projevují zvýšenou depozicí proteoglykanů a glykosaminoglykanů, což může ovlivnit mechanické vlastnosti a odolnost šlachy. (Mercer et al. 2022)

Dále se u tendinopatie mění metabolismus složek ECM. Dochází ke zvýšené expresi metaloproteináz (MMPs), což vede ke zvýšené degradaci kolagenní matrice. Tkáňové inhibitory metaloproteináz (TIMPs) často selhávají v regulaci metabolismu kolagenu, což způsobuje nerovnováhu přispívající k degeneraci šlachy. (Turgut et al. 2024)

2.7.2 Teorie zánětu

Teorie zánětu popisuje, že chronický zánět hraje významnou roli v patogenezi Achillovy tendinopatie. Tato teorie předpokládá, že při nadměrném zatěžování šlachy nebo opakovaném mechanickém stresu dochází k aktivaci zánětlivých procesů, které vedou ke strukturálním změnám v tkáni. Histologické analýzy typických zánětlivých stavů ukazují zvýšenou buněčnou aktivitu, charakterizovanou vyšší přítomností zánětlivých buněk, jako jsou makrofágy, lymfocyty a fibroblasty, jak ve šlaše, tak v okolní peritendinózní tkáni. (Ciardulli et al. 2022) Zvýšené hladiny prozánětlivých cytokinů, včetně interleukinu-6 (IL-6), tumor nekrotizujícího faktoru alfa (TNF- α) a interleukinu-1 beta (IL-1 β), podporují degradaci extracelulární matrix (ECM). To vede k nerovnováze mezi syntézou a degradací kolagenu, což přispívá k degeneraci šlachy. (Calder, Stephen, and Dijk 2016)

Naopak v některých případech chronické Achillovy tendinopatie nejsou přítomny jednoznačné známky zánětu. Histologická vyšetření mohou odhalit známky tendinózy, která se vyznačuje degenerativními změnami, jako je dezorganizace kolagenních vláken, avšak bez významného infiltračního výskytu zánětlivých buněk. To může vést k situaci, kdy se šlacha zdá morfologicky nezměněná, avšak jedinec pociťuje bolest a dysfunkci v důsledku změn na buněčné a molekulární úrovni. (Paramita and Widnyana 2022) Degenerativní procesy mohou zahrnovat změny v populaci tenocytů a složkách ECM, například snížení množství kolagenu typu I a zvýšení kolagenu typu III, což oslabuje strukturální integritu šlachy bez přítomnosti akutní zánětlivé odpovědi. (Masci, Alfredson, and Spang 2019)

Tyto poznatky naznačují složitou souhru mezi mechanickým zatěžováním, adaptací šlachy a buněčnými reakcemi, což zdůrazňuje multifaktoriální povahu Achillovy tendinopatie. Teorie zánětu tak poskytuje rámec pro pochopení jak akutních zánětlivých odpovědí spojených s mechanickými podněty, tak i chronických, nezánnětlivých změn, které mohou při tendinopatii přetrvávat.

2.7.3 Vaskulární a neurologická teorie

2.7.3.1 Vaskulární teorie

Vaskulární teorie předpokládá, že nedostatečné prokrvení Achillovy šlachy může vést ke zhoršenému hojení a regeneraci. Šlachy jsou obecně charakteristické omezeným cévním zásobením, zejména v oblastech, které bývají nejčastěji postiženy tendinopatií. Nedostatečný přísun krve zhoršuje dodávku klíčových živin a kyslíku, které jsou nezbytné pro buněčné funkce a opravu tkáně. (Liu et al. 2021)

V případech chronické tendinopatie lze často pozorovat zvýšenou neovaskularizaci, tedy tvorbu nových krevních cév, která se snaží kompenzovat nedostatečné zásobením. Avšak tyto nově vzniklé cévy bývají často strukturálně nezralé a mohou přispívat k bolesti a dalším degenerativním změnám namísto efektivního hojení. (Handoo 2024) Výzkumy ukazují, že růstové faktory, jako je vaskulární endoteliální růstový faktor (VEGF), hrají klíčovou roli v angiogenezi. Jejich podání může zlepšit hojení šlachy a její biomechanické vlastnosti po zranění. (Liu et al. 2021)

2.7.3.2 Neurologická teorie

Neurologická teorie zdůrazňuje význam nervového systému v patogenezi tendinopatie. Výzkumy naznačují, že nociceptivní senzorické nervy, včetně nemyelinizovaných C vláken a myelinizovaných A δ vláken, mohou přispívat k bolestivým projevům tendinopatie. Tyto senzorické nervy uvolňují neuropeptidy, jako jsou substance P a kalcitonin gene-related peptid (CGRP), které podporují lokální zánět a zvyšují vnímání bolesti. (Shi et al. 2020)

Významnou roli hraje také nervový růstový faktor (NGF) a další neurotrofické faktory, které mohou ovlivnit senzibilizaci nociceptorů v kontextu chronických poranění šlach. V některých případech může šlacha vykazovat neuropatické mechanismy bolesti, kdy aktivace nervových vláken způsobuje bolest i přesto, že u chronických forem tendinopatie není vždy přítomen významný zánět. (Lu et al. 2022)

Dále mohou symptomy Achillovy tendinopatie zhoršovat komprese nervů a jiné nervové patologie. (Shi, Wang, and Jiang 2019)

2.7.4 Teorie kumulace mikrotraumat

Teorie se týká postupné akumulaci mikrotraumat v těle Achillovy šlachy v závislosti na mechanickou zátěží. Tato akumulace může vést ke strukturálním a funkčním změnám, které se projeví například jako tendinopatie. Pokud je šlacha nadměrné zátěži (například při běhu, skocích nebo jiných sportovních aktivitách) může docházet k drobným mikrorupturám v kolagenních vláknech. Pokud tato zátěž překročí práh hojivých schopností šlachy, může dojít k narušení rovnováhy mezi poškozením a regenerací. (Karamanidis and Epro 2020)

Výzkumy ukazují, že i když mají šlachy schopnost adaptace, nadměrná mechanická zátěž může vést k nerovnováze mezi syntézou a degradací složek extracelulární matrix (ECM). Tento proces pak přispívá k degenerativním změnám, mezi které patří například změna zastoupení typů kolagenu a snížení pevnosti šlachy v tahu. (Karamanidis and Epro 2020)

Důležitou roli v udržování integrity kolagenu hraje enzym lysyl oxidáza (LOX), který podporuje křížové vazby a stabilizuje kolagenní síť během mechanického zatížení. Jeho přesná úloha v procesu chronické adaptace šlachy však vyžaduje další výzkum. (Heinemeier et al. 2007) Pokud kumulativní zatížení překročí regenerační kapacitu šlachy, zvyšuje se riziko vzniku tendinopatie. Studie ukazují, že chronické mechanické přetížení může vést ke zvýšené aktivitě metaloproteináz matrix (MMPs), které degradují kolagen a přispívají ke strukturálním změnám pozorovaným u degenerovaných šlach. (Lal and Agrawal 2024)

Důležitým faktorem je také časový průběh adaptace svalů a šlach, přičemž šlachy se nemusí přizpůsobovat zátěži stejnou rychlostí jako svalová tkáň. To může vést k tomu, že při opakovaná nadměrná zátěž vede k mikrotraumatu. (Arya and Kulig 2010)

Vzhledem k těmto poznatkům je klíčové správně vyvážit mechanickou zátěž během tréninkových režimů. Progresivní zvyšování mechanického stimulu, namísto opakované vysoké zátěže bez dostatečné regenerace, umožňuje optimální adaptaci šlachy a minimalizuje riziko poranění. (Weidlich et al. 2023)

2.8 Rizikové faktory

Etiologie tendinopatie Achillovy šlachy je multifaktoriální, přičemž na jejím vzniku a progresi se podílí různé rizikové faktory. Na základě scoping review publikovaného v roce 2021 lze rizikové faktory rozdělit do následujících kategorií. (De Vos et al. 2021)

2.8.1 Nemodifikovatelné rizikové faktory

S rozvojem tendinopatie Achillovy šlachy jsou spojeny některé nemodifikovatelné faktory, jako je historie tendinopatie v oblasti dolních končetiny, která byla identifikována jako potenciální faktor. Dále je rizikovým faktorem porucha funkce ledvin a užívání fluorochinolonových antibiotik. (De Vos et al. 2021)

2.8.2 Modifikovatelné rizikové faktory

Několik modifikovatelných faktorů bylo spojeno se vznikem tendinopatie Achillovy šlachy. (De Vos et al. 2021)

- Konzumace alkoholu
- Snížená síla lýtkových svalů (plantárních flexorů)
- Změněný pohybový vzorec chůze, charakterizovaný sníženým posunem těžiště vpřed a zvýšeným laterálním posunem Cop chodidla během fáze plného kontaktu
- Trénink v zimním období

2.8.3 Faktory, které nebyly přímo spojeny se vznikem onemocnění

Naopak, některé faktory nebyly přímo prokázány jako signifikantní rizika pro vznik tendinopatie Achillovy šlachy. (De Vos et al. 2021)

- Věk, pohlaví a etnicita
- BMI a tělesná hmotnost
- Dominance dolní končetiny
- Kouření
- Typ obuvi
- Charakteristiky chodidla zjištěné při fyzikálním vyšetření
- Externí rotace kyčle
- Perorální užívání prednisonu

2.8.4 Faktory s nejednoznačnými důkazy

Některé faktory mají rozporuplné důkazy ohledně jejich vlivu na rozvoj tendinopatie Achillovy šlachy. (De Vos et al. 2021)

- Snížený rozsah dorzální flexe hlezna
- Tréninkové hodiny
- Zvětšená tloušťka Achillovy šlachy
- Hypoechogenní oblasti v Achillově šlaše pozorované ultrazvukem
- Náhodné nálezy částečných ruptur na ultrazvuku
- Ultrazvukové parametry, jako je Dopplerův průtok krve, struktura šlachy, intratendinózní kalcifikace a abnormality peritendinea

2.8.5 Klinicky významné rizikové faktory ve fyzioterapeutické praxi

Mezi důležité faktory s největším klinickým významem patří:

- Síla plantárních flexorů hlezna, která se ukazuje jako ochranný faktor proti rozvoji nebo zhoršení AT. (O'Neill, Barry, and Watson 2019)
- Zkrácení plantárních flexorů a hamstringů spolu se sníženým rozsahem pohybu do dorzální flexe hlezna a flexe kyčle (při extenzi kolene) může přispět k rozvoji nebo progresi tendinopatie. (Hess 2010)
- Změny v chůzi a běhu, detekované pomocí tlakových senzorů, mohou pomoci předcházet vzniku nebo zhoršení tendinopatie Achillovy šlachy. (Van Ginckel et al. 2009)
- Vyvarování se aplikace kortikosteroidních injekcí nebo užívání fluorochinolonových antibiotik, které mohou zhoršit stav šlachy. (Coombes, Bisset, and Vicenzino 2010)
- Udržování optimální teploty šlachy během zimního období pomocí důkladného zahřátí před tréninkem může snížit riziko vzniku nebo progresu tendinopatie Achillovy šlachy. (Milgrom et al. 2003)
- Přetížení plantárních flexorů nebo Achillovy šlachy při vysoké zátěži, zejména při nedostatečné tréninkové přípravě, náhlém návratu ke sportu po dlouhé nečinnosti a nesprávném objemu či intenzitě tréninku, může významně přispět k rozvoji nebo progresi tendinopatie Achillovy šlachy. (van Linschoten, den Hoed, and de Jongh 2007)

2.9 Diagnostický algoritmus

Systematický diagnostický algoritmus pro tendinopatii Achillovy šlachy je zásadní pro zajištění přesné identifikace a vhodného způsobu léčby. Tento algoritmus zahrnuje několik hlavních složek: anamnézu, klinické vyšetření, zobrazovací metody a diferenciální diagnostiku. Každá z těchto částí poskytuje důležité informace pro správné posouzení pacientova stavu.

2.9.1 Anamnéza

Anamnéza je základní součástí diagnostického procesu Achillovy tendinopatie, protože umožňuje důkladné pochopení pacientových symptomů, životního stylu a zdravotní historie. (Maffulli et al. 2020; Milgrom et al. 2003)

2.9.1.1 *Symptomy*

Klinický specialista by měl zjišťovat délku trvání a konkrétní lokalizaci bolesti, která je často popisována ve střední nebo úponové části šlachy. Klíčové otázky zahrnují: Zvyšuje se bolest během nebo po pohybové zátěži, jako je běh či skákání? Jaká je intenzita bolesti a mění se v závislosti na různých aktivitách?

2.9.1.2 *Pohybová aktivita*

Posouzení pacientovy pohybové aktivity je zásadní. Je důležité zjistit, zda se jedná o sportovce zapojené do vysoce intenzivních sportů nebo o jedince se sedavějším životním stylem. Analýza tréninkové intenzity a objemu může pomoci identifikovat vzorce přetížení, které přispívají k rozvoji onemocnění.

2.9.1.3 *Další onemocnění*

Je nutné zvážit přítomnost neurologických, systémových nebo autoimunitních onemocnění, která mohou ovlivnit zdraví šlach. Například pacienti s diabetem nebo revmatoidní artritidou mohou být k tendinopatii predisponováni.

2.9.1.4 *Předchozí zranění nebo operace*

Důležitou roli hraje také anamnéza předchozích zranění, zejména Achillovy šlachy či jiných částí dolních končetin. Rovněž je třeba zaznamenat případné předcházející operace, zvláště pokud se jednalo o oblast dolních končetin.

2.9.1.5 Předchozí léčba

Informace o dříve podstoupených léčebných postupech jsou zásadní pro pochopení léčebné historie a výsledků předchozích intervencí, jako jsou kortikosteroidové injekce.

2.9.2 **Klinické vyšetření**

Klinické vyšetření tendinopatie Achillovy šlach následuje po odebrání anamnézy. Jedná se o další krok v diagnostickém algoritmu, který zahrnuje komplexní hodnocení k potvrzení diagnózy a vyloučení dalších možných onemocnění. Vyšetření obvykle zahrnuje následující části. (Alfredson and Cook 2007; Maffulli et al. 2020)

2.9.2.1 Palpace

Klinické vyšetření Achillovy šlachy by mělo zahrnovat důkladnou palpací s cílem určit přesné místo bolesti a citlivosti. Oblast diskomfortu může v klinickém vyšetření navést na postiženou oblast a vést k další indikaci cíleného zobrazovacího vyšetření. Tendinopatie se obecně projevují jasně lokalizovaným ložiskem bolesti ve šlaše bez difuzního charakteru.

2.9.2.2 Speciální testy

Test Royal London Hospital (Arc sign) se běžně používá k posouzení stavu šlachy a okolního paratenonu, což pomáhá rozlišit mezi zasažením tkáně šlachy nebo paratenonu.

2.9.2.3 Diferenciální diagnostika

Je nezbytné systematicky vyloučit jiná onemocnění, která mohou vykazovat podobné příznaky.

- **Tendinopatie flexoru hallucis longus** – bolesti v mediální části kotníku.
- **Tendinopatie peroneálních šlach** – bolesti v laterální části kotníku.
- **Tendinopatie tibialis posterior** – bolesti v mediální části kotníku.
- **Paratenonitida** – difuzní bolest v oblasti Achillovy šlachy.
- **Syndrom os trigonum** – bolest v zadní části kotníku při maximální plantární flexi.
- **Únavová zlomenina patní kosti** – bolest v oblasti patní kosti.

2.9.2.4 Funkční testy

Funkční vyšetření je klíčové pro stanovení dopadu příznaků na pohybové schopnosti pacienta. Test výponu na špičku na jedné noze je běžný funkční test používaný k hodnocení síly m. gastrocnemius-soleus a schopnosti Achillovy šlachy přenášet sílu na patní kost. Snížená schopnost provést tento test může naznačovat funkční postižení v důsledku tendinopatie. Další možností je test „pogo jumps“, který hodnotí reakci šlachy na dynamickou zátěž ve formě poskoku na přednoží.

2.9.3 **Zobrazovací vyšetření**

Hodnocení zobrazovacích metod je zásadní pro diferenciální diagnostiku a případné potvrzení tendinopatie Achillovy šlachy, protože poskytuje informace o anatomických a patologických změnách ve šlaše nebo jejím okolí. Mezi hlavní zobrazovací modalitty patří ultrazvuk (US) a magnetická rezonance (MRI). (Leung a Griffith 2008; Maffulli et al. 2020)



Obrázek 9. Tendinopatie střední porce šlachy na ultrazvuku.

2.9.3.1 Ultrazvuk

Ultrazvuk je cenným nástrojem první volby pro vyšetření Achillovy šlachy díky své možnosti zobrazit měkké tkáně v reálném čase. Umožňuje identifikaci běžných rysů tendinopatie, jako je zesílení šlachy, neovaskularizace (tvorba nových cév) a hypoechogenita (oblasti se sníženou echogenitou, které mohou naznačovat dezorganizaci a degeneraci kolagenu). Dynamická povaha ultrazvuku umožňuje klinikům sledovat pohyb šlachy a hodnotit nejen samotnou šlachu, ale i okolní struktury. (viz. Obrázek 9)

2.9.3.2 Magnetická rezonance (MRI)

MRI poskytuje podrobné snímky Achillovy šlachy a okolních tkání, což je zvláště užitečné v komplexních případech. Pomáhá posoudit rozsah tendinopatie a identifikovat další komplikace, jako jsou částečné nebo úplné ruptury šlachy, poškození patní kosti a hypoechogenita Kagerova tukového polštáře. MRI je rovněž užitečné pro vyloučení dalších onemocnění, jako je Severova choroba, retrokalkanární burzitida a určení formy tendinopatie, tím přispívá k diferenciální diagnostice.

2.9.3.3 Diferenciální diagnostika

V kontextu tendinopatie Achillovy šlachy je nezbytné vyloučit stavy, které mohou mít podobné příznaky, aby byla zajištěna přesná diagnostika a vhodná léčba.

- **Severova choroba:** Často se vyskytuje u adolescentů a projevuje se bolestí a citlivostí paty, což může napodobovat tendinopatii.
- **Retrokalkanární burzitida:** Zánět burzy může způsobit bolest v zadní části paty a bývá často zaměňována za tendinopatii.
- **Jiné tendinopatie:** Onemocnění flexoru hallucis longus, peroneálních šlach a tibialis posterior mohou mít podobné projevy, ale mohou vyžadovat odlišné terapeutické přístupy.
- **Ruptura šlachy:** Kompletní nebo částečné ruptury vyžadují jiný přístup k léčbě než tendinopatie.
- **Hypoechogenita Kagerova tukového polštáře:** Změny mohou naznačovat základní patologické procesy ovlivňující Achillovu šlahu.

2.10 Klinický management

Komplexní terapeutický management pro léčbu tendinopatie Achillovy šlachy se zakládá na intervenci založené na důkazech a systematickém hodnocení stavu. Tento postup zahrnuje několik klíčových prvků, včetně dotazníku Victorian Institute of Sport Assessment – Achilles (VISA-A), výponového testu (Heel Rise Test – HRT), praktických doporučení do klinické praxe.

2.10.1 VISA-A: Dotazník Victorian Institute of Sport Assessment – Achilles

VISA-A je validovaný dotazník speciálně navržený k měření závažnosti symptomů a funkčních omezení spojených s Achillovou tendinopatií. Pacienti vyplňují VISA-A jako vstupní hodnocení při stanovení diagnózy, přičemž skóre se pohybuje od 0 (závažné příznaky) do 100 (žádné příznaky). VISA-A je široce využíván jak ve výzkumných, tak klinických podmínkách k hodnocení dopadu tendinopatie Achillovy šlachy na každodenní život. (Iversen, Bartels, and Langberg 2012)

Před vyplnění dotazníku by pacienti měli být instruováni, aby přibližně jeden týden před hodnocením vyzkoušel VISA-A funkční testy, mezi které patří (viz. Příloha 5):

- **Protažení lýtkového svalu na schodu:** Posouzení flexibility a komfortu.
- **30minutová chůze:** Hodnocení tolerance k nízkoúrovňové zátěži.
- **Chůze ze schodů:** Identifikace bolestivé odpovědi při sestupu.
- **10 výponů na jedné noze:** Testování síly a funkce lýtkových svalů.
- **10 pogo skoků na jedné noze:** Posouzení výbušné síly a odpovědi šlachy na dynamické zatížení.

2.10.2 Výponový test (Heel Rise Test – HRT)

Výponový test (HRT) je funkčním hodnocením svalové vytrvalosti plantárních flexorů a funkce Achillovy šlach. Správné provedení testu je klíčové pro získání spolehlivých výsledků a zahrnuje několik kroků: (Silbernagel et al. 2010)

- **Rozcvičení:** Před samotným testem se doporučuje zahřátí svalů a šlach. Účastníci mohou provést několik výponů na obou nohách, čímž podpoří prokrvení a mobilitu.
- **Výpon na jedné noze:** Test se provádí naboso na jedné noze, což umožňuje izolované hodnocení funkce Achillovy šlachy a lýtkových svalů. Pro maximální rozsah pohybu je vhodné provádět test na schodu.
- **Kontrolní parametry:** Během testu je důležité kontrolovat výšku výponu, aby účastník dosahoval definované úrovně v každém opakování. Dále lze regulovat kadenci, což pomáhá standardizovat provedení testu a zajistit konzistentní tempo.
- **Opora a technika:** Účastníci mohou pro udržení rovnováhy lehce položit konečky prstů na zeď, avšak nesmí se o ni nadměrně opírat, protože by to mohlo zkreslit výsledky. Jakékoli odchylky od správné techniky by měly vést k ukončení testu.
- **Záznam počtu opakování a úrovně bolesti:** Počet dokončených opakování na každé noze by měl být zaznamenán spolu s intenzitou bolesti v oblasti Achillovy šlachy. Bolest lze kvantifikovat na číselné škále od 0 (žádná bolest) do 10 (silná bolest). Pravidelné sledování úrovně bolesti ve spojení s výkonnostními výsledky poskytuje cenné informace o účinnosti rehabilitačních intervencí.

2.10.3 Praktická doporučení při léčbě

Praktická doporučení pro léčbu Achillovy tendinopatie zahrnují rehabilitační strategie i úpravu životního stylu:

- **Diagnostika:** Před zahájením léčby je nezbytné vyloučit akutní stavy. Terapeut by se měl pacienta zeptat, zda během zátěže pociťuje omezující bolest.
- **Sportovní kontext:** Je důležité pochopit, v jaké fázi tréninkového cyklu se sportovec nachází. Dotazy na aktuální tréninkovou zátěž, nadcházející soutěže a periodizaci pomáhají při návrhu vhodného rehabilitačního programu.
- **Multifaktoriální původ bolesti:** V rámci diferenciální diagnostiky je dobré brát v úvahu možnost různých zdrojů pacientovy bolesti, která může vycházet z poškození více struktur, včetně okolních šlach, svalů, burz, fascií, cév, nervů, kostí nebo vazů.
- **Testování:** Zhodnocení poznatků z diagnostiky a klinického testování je důležité pro určení prognózy.
- **Edukace:** Přesvědčení a očekávání ohledně onemocnění ze strany pacienta je dobré konzultovat s odborníkem, případně nastavit realistická očekávání v terapii a edukovat ohledně onemocnění.

2.10.4 Klinická práce založená na evidenci a alternativy

Terapeutický přístup k léčbě tendinopatie Achillovy šlachy založený na důkazech zahrnuje vědecky podložené protokoly s intervencí. Tato sekce představuje klíčové součásti klinické praxe založené na důkazech a alternativní léčebné přístupy.

2.10.4.1 *Klinická praxe založená na důkazech – hlavní protokoly*

Mezi nejefektivnější rehabilitační přístupy pro léčbu Achillovy tendinopatie patří strukturované cvičební protokoly. Mezi klíčové patří:

- **Alfredsonův protokol:** Tento excentrický cvičební režim je podložen klinickými studiemi a považuje se za účinný při léčbě tendinopatie střední části šlachy. Pacienti provádějí excentrické zdvihy lýtek, které při pravidelném dodržování vedou k významnému zlepšení symptomů a funkce. (Alfredson and Pietila 1998)
- **Silbernagel protokol:** Tento přístup klade důraz na objem a intenzitu tréninku, postupně zvyšující zatížení prostřednictvím náročnějších cviků, což podporuje hojení šlachy a minimalizuje riziko recidivy. (Silbernagel a Crossley 2015)

Oba protokoly jsou základem rehabilitačních programů a měly by být přizpůsobeny individuálním potřebám pacienta, jeho pohybové aktivitě a reakci na léčbu.

2.10.4.2 Výhodiska pro porovnání rehabilitačních protokolů

Ve fyzioterapeutické praxi existuje několik strukturovaných cvičebních protokolů pro léčbu tendinopatie Achillovy šlachy, které se liší typem mechanického stimulu, objemem a progresí zátěže.

Alfredsonův protokol reprezentuje tradiční, čistě excentrický přístup s vysokým denním objemem (180 opakování/den).

Silbernagel protokol kombinuje excentrické, koncentrické a plyometrické fáze s periodizací intenzity, čímž lépe kopíruje postupné zatížení v reálném sportovním tréninku. Dosavadní literatura nabízí jen omezené přímé srovnání těchto dvou paradigmat u stejné populace a pomocí stejných klinických i biomechanických výstupů.

Porovnání standardního (Alfredson) a inovovaného (Silbernagel) přístupu proto:

- Navazuje na výzkumnou otázku a cíl 2: zjistit, který režim přináší větší klinicky významné zlepšení VISA-A, tedy zlepšení bolesti při funkci šlachy.
- Doplnuje výzkumnou otázku a cíl 3: protože rozdílné mechanické zatížení může vést k odlišným změnám tuhosti (N/m) a příčného řezu (mm²), měřených ultrazvukem a MyotonPRO.

Kombinované hodnocení subjektivních (VISA-A) i objektivních (tuhost, struktura) ukazatelů tak umožní lépe individualizovat rehabilitační doporučení a vymezit, pro které pacienty je která modalita optimální.

2.10.4.3 Klinická praxe založená na důkazech – doplňkové intervence

Kromě hlavních rehabilitačních protokolů mohou doplňkové strategie zlepšit výsledky léčby:

- **Balancování na jedné noze:** Začlenění balančních cvičení do rehabilitace pomáhá zlepšit stabilitu a propriocepci. (Van Ginckel et al. 2009)
- **Periodizace tréninku:** Strukturované tréninkové plány, které strategicky mění objem, intenzitu a délku zotavení, mohou optimalizovat adaptaci šlachy a předejít jejímu přetížení. (van Linschoten et al. 2007)

2.10.4.4 Alternativy k tradičním léčebným postupům

Přestože standardní rehabilitační strategie jsou účinné, lze zvážit i alternativní terapie jako doplněk k léčbě:

- **Protahování a manuální terapie:** Jemné protahování lýtkových svalů a manuální techniky mohou přispět k úlevě od symptomů a zlepšení flexibility, čímž doplňují posilovací cvičení.
- **Cílená pohybová terapie:** Zaměření na trénink jiných svalových skupin dolní končetiny může zlepšit biomechanickou efektivitu pohybu a snížit přetížení Achillovy šlachy.
- **Vysokoenergetická laserová terapie (HILT):** Tato metoda může podpořit regeneraci tkání a snížit bolest u chronických případů tendinopatie, čímž přispívá ke zlepšení hojení.
- **Rázová vlna (ESWT):** Terapie fokusovanými rázovými vlnami je neinvazivní metoda, která prokázala účinnost při léčbě chronické neinzertní Achillovy tendinopatie tím, že stimuluje syntézu kolagenu a snižuje lokální zánět.

2.11 Primární prevence

Primární prevence tendinopatie Achillovy šlachy zahrnuje strategie, které mohou snížit riziko vzniku tohoto onemocnění.

2.11.1 Síla

Posilování, zejména plantárních flexorů, je zásadní pro udržení zdraví šlachy. Cvičení zaměřená na lýtkové svaly mohou zlepšit celkovou funkci šlachy a předejít přetížení. Zavedení tréninkových režimů s postupně se zvyšujícím zatížením, účinně zvyšuje odolnost šlachy. (Kubo and Ikebukuro 2012)

2.11.2 Rovnováha

Trénink rovnováhy, například cvičení ve stoji na jedné noze, zlepšuje propriocepci a stabilitu, což je důležité zejména pro sportovce zapojené do dynamických sportů. Lepší rovnováha pomáhá sportovcům udržet správnou biomechaniku a snižuje riziko jednostranného a nadměrného zatěžování šlachy. (Van Ginckel et al. 2009)

2.11.3 Trénink

Strukturovaný trénink a periodizace cvičebních programů jsou zásadní pro snížení pravděpodobnosti vzniku tendinopatie. Pečlivé plánování tréninkových objemů a regeneračních období umožňuje šláse adekvátně se přizpůsobit bez nadměrného zatížení. Sportovci by měli postupně zvyšovat objem a intenzitu tréninku, aby předešli přetížení. (van Linschoten et al. 2007)

2.11.4 Prostředí

Důležitým faktorem prevence je také tréninkové prostředí. Podmínky jako povrch, na kterém sportovci trénují, nebo počasí ovlivňují šlachy. Sportovci by měli dbát na vhodný výběr povrchu pro trénink a přizpůsobit svou rutinu chladnému počasí, které může ovlivňovat elasticitu a funkci šlachy. (Milgrom et al. 2003)

2.11.5 Regenerace

Dostatečná regenerace je klíčová pro prevenci tendinopatie, zejména u sportovců, kteří vykonávají opakované namáhavé aktivity. Je důležité nastavit strategie umožňující dostatečnou adaptaci šlachy, včetně odpočinkových období a zařazení kompenzačních aktivit, které snižují kumulativní zatížení Achillovy šlachy během sportovního tréninku.

2.11.6 Celkové zdraví

Celkový zdravotní stav hraje zásadní roli v prevenci tendinopatie. Udržování zdravé tělesné hmotnosti, správná výživa a řešení systémových či metabolických onemocnění, jako je diabetes nebo zánětlivé poruchy, mohou přispět ke snížení rizika vzniku tendinopatie Achillovy šlachy.

3 Cíle a výzkumná otázka

3.1 Cíle

Projekt disertace má za cíl nabídnout validní a reliabilní postupy pro kvantitativní měření biomechanických vlastností Achillovy šlachy do klinické nebo laboratorní praxe. Zhodnotit efektivnost a poukázat na možné rozdíly jednotlivých protokolů. Tyto poznatky by měly vést k lepší informovanosti specialistů v klinické praxi při volbě léčebných postupů a případném sestavování léčebného plánu dle potřeb pacienta.

1. Cílem **studie reliability** je zhodnotit test-retest reliabilitu přístroje MyotonPRO při standardizovaném měření tuhosti (N/m) Achillovy šlachy.
2. Cílem **randomizované kontrolované studie** je zhodnotit efektivnost standardního a inovovaného terapeutického přístupu z pohledu bolesti a funkce Achillovy šlachy (VISA-A).
3. Vedlejším cílem je **analýza strukturálních** (mm²) a **biomechanických** (N/m) změn tkáně Achillovy šlachy v závislosti na bolesti a funkci šlachy (VISA-A). "

3.2 Výzkumné otázky

1. Jaká je test-retest reliabilita přístroje MyotonPRO při standardizovaném měření tuhosti (N/m) Achillovy šlachy?
2. Jak úspěšná je standardní a inovovaná intervence z pohledu bolesti, poruchy funkce a omezení pohybové aktivity u pacientů s tendinopatií Achillovy šlachy (VISA-A)?
3. Jak se mění příčný řez (mm²) a tuhost (N/m) Achillovy šlachy během intervence a jaký je jejich vztah s bolestí a funkcí šlachy (VISA-A)?

3.3 Hypotézy

1. Reliabilitu standardizovaného měření tuhosti Achillovy šlachy přístrojem MyotonPRO očekáváme dobrou (0,75-0,90) až excelentní (nad 0,90).
2. Očekáváme klinický významné zlepšení u obou intervencí (>10 VISA-A) s výraznějším zlepšením u inovované intervence (>20 VISA-A).
3. Očekáváme zvýšení tuhosti (>50 N/m) tkáně Achillovy šlachy a snížení plochy příčného řezu šlachy (>1 mm²) v závislosti na klinickém efektu pro bolest a funkci (VISA-A).

4 Metodologie

Metodologická část práce je strukturována do dvou navazujících studií, které společně odpovídají na vytyčené cíle (viz. 3.1). První, akutní laboratorní studie, se zaměřuje na cíl 1 – objektivně ověřit test-retest reliabilitu měření tuhosti Achillovy šlachy pomocí přístroje MyotonPRO (Příloha 6) a tím podpořit jeho validní zavedení do klinické i výzkumné praxe. Druhá, randomizovaná kontrolovaná studie, naplňuje cíle 2 a 3 – porovnává terapeutickou účinnost excentrického Alfredsonova a progresivního Silbernagelova protokolu a souběžně sleduje biomechanické (tuhost N/m) a strukturální (CSA mm²) změny šlachy v kontextu klinického zlepšení (VISA-A, HRT). Společně tak obě studie poskytují ucelený rámec od spolehlivosti měření až po klinickou aplikovatelnost dvou nejčastěji využívaných rehabilitačních přístupů.

4.1 Studie reliability

4.1.1 Design studie

Studie reliability byla zaměřená na ověření test-retest reliability měření tuhosti Achillovy šlachy pomocí přístroje MyotonPRO. Tato studie byla prováděna v kontrolovaných podmínkách na vzorku zdravých mladých účastníků, kdy byla prováděna opakovaná měření v krátkých (10–15 sekund, 10–15 minut, 24 hodin) i dlouhodobých intervalech (14 dní). Měření obsahovalo simulaci sportovních aktivit (SP) a aktivit denního života (ADL) a bylo prováděno třemi operátory. Výsledkem bylo určení opakovatelnosti a stability měřených hodnot, což je klíčové pro jejich následné využití při monitorování klinických stavů tendinopatie a hodnocení terapeutických intervencí v klinické i vědecké praxi.

S ohledem na nedostatek údajů o spolehlivosti bylo cílem této studie posoudit opakovatelnost (test-retest spolehlivost) měření tuhosti Achillovy šlachy pomocí přístroje MyotonPRO v nově standardizované poloze; zjistit, zda různé časové intervaly (od několika sekund po týdny) ovlivňují spolehlivost měření; vyhodnotit, jak stimuly fyzické aktivity (běžné každodenní činnosti a simulace sportu) působí na krátkodobou spolehlivost a prozkoumat spolehlivost mezi operátory přístroje MyotonPRO v tomto kontextu. Předpokládali jsme, že za standardizovaných podmínek bude MyotonPRO vykazovat dobrou až výbornou opakovatelnou spolehlivost (intraclass correlation coefficient $> 0,75$) ve všech sledovaných časových intervalech i při různých stimulech fyzické aktivity.

Bezprostřední měření s odstupem 10–15 s nám umožnila zachytit po sobě jdoucí pokusy bez jakéhokoli přemístění účastníka. Interval 10–15 min pak sloužil jako krátkodobé opakované měření (test-retest) a zahrnoval praktické kroky, jako je znovunastavení polohy účastníka, označení měřicího místa. Mírná variabilita tohoto intervalu (tj. někdy blíže 10 min, jindy 15 min) realisticky odráží podmínky klinické a výzkumné praxe, kde drobné procedurální či účastnické prodlevy běžně nastávají. Tím, že práce jasně formuluje hypotézu a zdůvodňuje volbu časových intervalů, zaplňuje mezeru v dosavadní literatuře a nabízí reprodukovatelnou metodologii pro spolehlivé hodnocení tuhosti Achillovy šlachy u zdravých, a potenciálně i klinických populací.

4.1.2 Výběr účastníků

Pro studii bylo vybráno osm zdravých účastníků, kteří byli rekrutováni metodou „convenience sampling“ na kampusu Univerzity Karlovy v období od března do července 2022. Výběrové kritérium zahrnovalo účastníky mladší 30 let, kteří pravidelně sportují a nemají historii zranění dolních končetin v posledních šesti měsících. Pro stanovení potřebného počtu subjektů byla využita Zouova formule implementovaná v balíčku ICC. Sample.Size (verze 1.0) v softwaru R. S předpokladem tří hodnocení na účastníka, požadované 80% síly a dvoustranné hladině významnosti 0,05 byl potřebný počet subjektů stanoven na 8. (Zou 2012)

Kromě věku a sportovní zátěže museli být účastníci bez neurologických, cévních či systémových onemocnění a disponovat platným sportovním povolením od lékaře.

Studie byla schválena Etickou komisí Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy (ID: 255/2021) a všichni účastníci podepsali písemný informovaný souhlas.

4.1.3 Experimentální přístup

Studie probíhala ve třech vlnách měření, přičemž mezi jednotlivými vlnami byl odstup 14 dní (viz. Obrázek 10). Každá vlna se skládala ze dvoudenního měřicího protokolu:

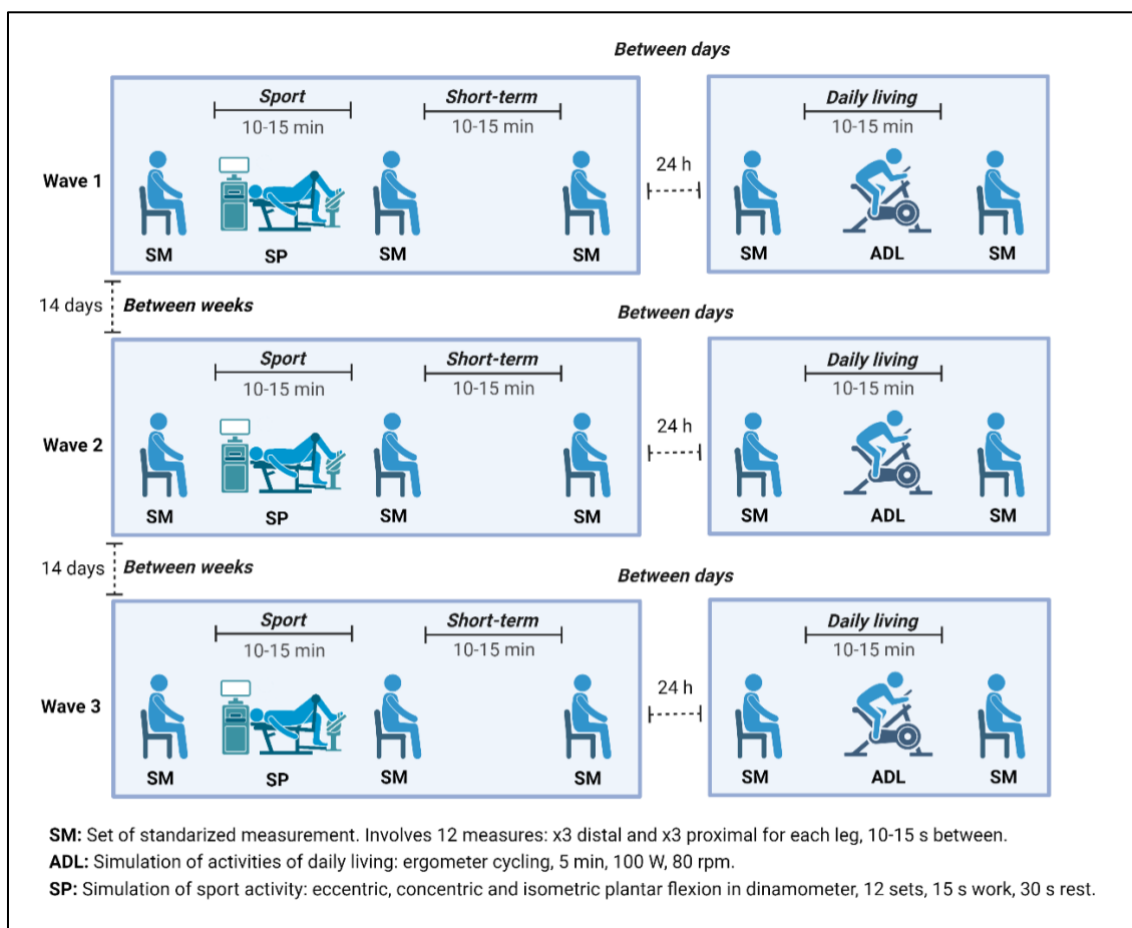
- **První návštěva (Session 1–3):**

- Po úvodním 5minutovém odpočinku v leže si účastníci zaujali standardizovanou pozici v sedě s bederní opěrkou (fixace pomocí klínové podložky). Výška bedny byla nastavena tak, aby úhel v kotníku a koleni byl 90° (kontrola pomocí goniometru) a linie spojující mediální stranu paty a palec byla kolmá k bedně.
- Na každé noze byla provedena měření tuhosti Achillovy šlachy (v N/m) ve dvou místech – distálně (1 cm proximálně od tuber calcanei) a proximálně (6 cm proximálně od tuber calcanei). Body měření byly označeny permanentním markerem platným do konce měřicího dne (nikoli do další vlny).
- Během každého sezení bylo provedeno 3 opakování měření v každém stanoveném místě, tedy celkem 12 měření na každé sady standardizovaných měření (SM).
- Mezi Session 1 a Session 2 byl zaveden protokol simulace sportovních aktivit (SP).

- **Druhá návštěva (Session 4–5):**

- Probíhala 24 hodin po první návštěvě. Po úvodním 5minutovém odpočinku si účastníci znovu zaujali standardizovanou pozici a byla měřena první sada SM.
- Následně proběhla simulace aktivit denního života (ADL), po které byla provedena druhá sada SM.

Celkem tak každý účastník absolvoval 180 měření (3 vlny × 5 sezení × 2 nohy × 2 měřící body × 3 opakování).



Obrázek 10. Schéma měření – časové intervaly a změny v nastavení.

4.1.4 Časové intervaly mezi měřeními

Různé časové intervaly umožnily posoudit:

- **10–15 sekund:** okamžitá opakovaná měření bez reposice, hodnotící přímou opakovatelnost měření.
- **10–15 minut:** krátkodobou opakovatelnost měření s praktickou repozicí účastníka pro provádění menších procedur mezi měřeními.
- **24 hodin:** následující den, běžně používaný interval u klinických kontrol.
- **14 dní:** dlouhodobá stabilita měření, relevantní pro sledování dlouhodobých rehabilitačních programů.

4.1.5 Měření tuhosti Achillovy šlachy

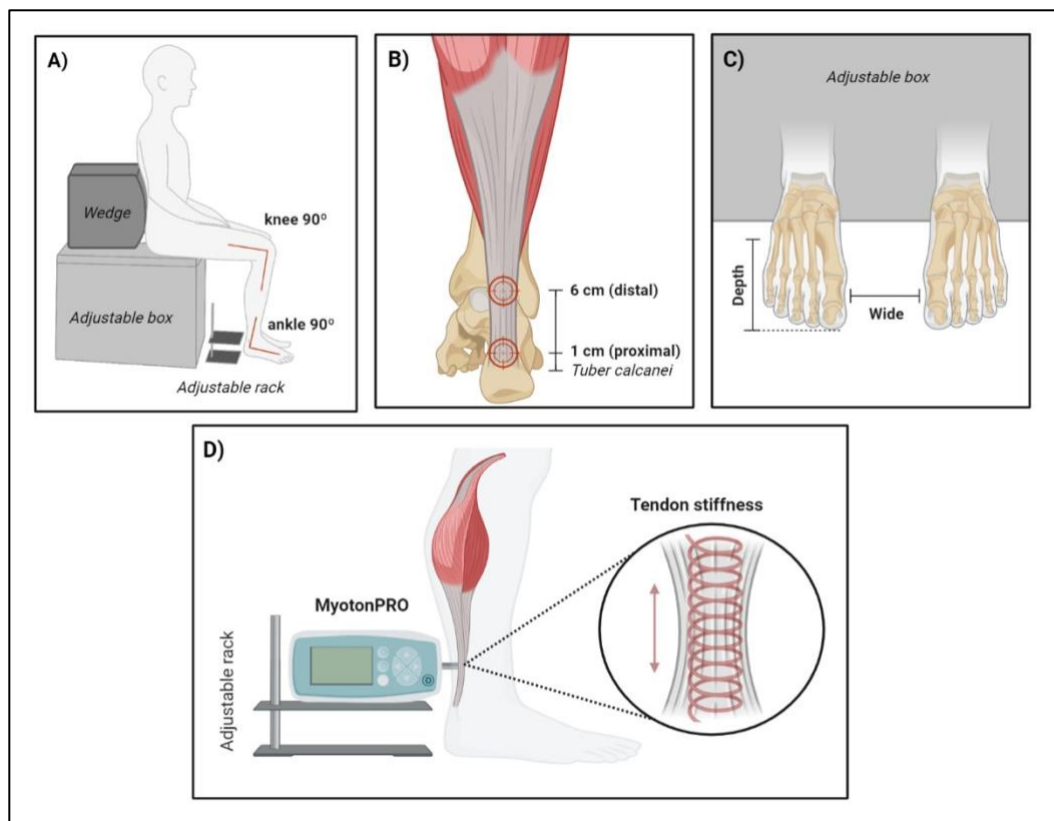
Data o tuhosti šlachy byla získávána pomocí přístroje MyotonPRO (Muomeetria, Tallinn, Estonsko; Model 000607). Zařízení nejprve aplikuje kontrolovaný „preload“ tkáně 0,18 N k stlačení podkožní tkáně, následovaný 15-ms impulsem o síle 0,40 N, který indukuje tlumené přirozené oscilace v tkáni. Na základě těchto oscilací lze stanovit hodnotu tuhosti šlachy vyjádřenou v N/m.

4.1.6 Standardizované měření

Standardizované měření bylo zahájeno tak, že účastníci usedli na bednu s fixací pozice pomocí bederní opěrky (viz Obrázek 11.A). Byli nastaveny úhly v kotníku a koleni na 90° (kontrola pomocí goniometru) a linie spojující mediální stranu paty a palec je kolmo k bedně. Měření tuhosti šlachy bylo provedeno na dvou místech:

- **Distální bod:** 1 cm proximálně od tuber calcanei.
- **Proximální bod:** 6 cm proximálně od tuber calcanei.

Přístroj MyotonPRO byl umístěn na výškově nastavitelný stojan (viz Obrázek 11.B a 11.D). Měřicí body byly označeny permanentním fixem, jenž přetrval do následujícího dne, nikoli však do další měřicí vlny. V popsané poloze byla zaznamenána vzdálenost mezi palcem nohy a okrajem boxu i vzdálenost mezi prvními metatarzy levé a pravé nohy (Obrázek 11.C). Nakonec byl pod MyotonPRO umístěn nastavitelný stojan a výška stojanu (Příloha 7) pro distální i proximální měření byla rovněž zaznamenána (Obrázek 11.D).



Obrázek 11. Standardizované měření tuhosti Achillovy šlachy.

4.1.7 Simulace sportovních a denních aktivit

Pro simulaci zátěže byly použity dva protokoly:

- **Simulace SP (sportovních aktivit):**
 - Prováděna na vybrané (náhodně určené) noze za použití dynamometru Hu-macNorm (Cybex 770-NORM®).
 - Protokol zahrnoval 12 sérií, přičemž každá série zahrnovala 15 sekund maximální plantární flexe, následované 30sekundovým odpočinkem. (Příloha 8)
 - Byly simulovány tři typy zatížení: excentrické, izometrické a kombinované konzentricko/excentrické, přičemž plantární flexi účastníci vykonávali s pokrčeným kolenem (90°) v leže na zádech. Rozsah pohybu pro excentrické a kombinované zatížení byl od 30° plantární flexe do 15° dorzální flexe; izometrické zatížení bylo provedeno při 0°.

- **Simulace ADL (aktivity denního života):**

- Protokol zahrnoval 5minutovou seanci na ergometru při 100 W a 80 otáčkách za minutu, následovanou 20 výpony na patách.
- Cílem bylo simulovat podmínky, které běžně předcházejí vyšetřením v klinické či výzkumné praxi, jako je jízda na kole, chůze do laboratoře nebo stoupání po schodech.

4.1.8 Postup měření

Přibližně týden před prvním měřením účastníci absolvovali seznamovací sezení (familiarizaci). Během tohoto sezení si osvojili simulaci aktivit denního života (ADL) a sportovně zaměřených činností (SP). Současně byly zaznamenány parametry standardizované polohy – výška stojanu, vzdálenost palce od okraje boxu a vzdálenost mezi hlavami prvních metatarzů – aby bylo možné tuto polohu (Obrázek - 11) identicky reprodukovat ve všech měřicích termínech. Účastníci byli dále instruováni, aby se tři dny před každou měřicí vlnou vyvarovali fyzicky náročné aktivity.

Každá ze tří měřicích vln oddělených 14 dny (Obrázek - 10) probíhala dle stejného protokolu:

1. **Začátek 1. návštěvy:** Účastníci odpočívali 5 minut v leže. Poté zaujali standardizovanou sedavou pozici, byly označeny body měření a provedena první sada standardizovaných měření (SM).
2. **Po SM:** Účastníci provedli simulaci sportovních aktivit (SP) a ihned po ní opět nastavili standardizovanou pozici, následovanou druhou sadou SM.
3. **Po 15 minutách odpočinku:** Byla provedena třetí sada SM během první návštěvy.
4. **Druhá návštěva (24 hodin po první):** Po 5minutovém odpočinku účastníci zaujali standardizovanou pozici, provedli první SM, poté absolvovali simulaci ADL a následně byla provedena druhá SM.

Měření v sezeních Session 1 až 3 prováděl jeden operátor, zatímco v sezeních Session 4 a 5 byly měření prováděny náhodně přiřazenými operátory. Všichni operátoři byli doktorandi oboru kineziologie, s praxí v identifikaci distal a proximal bodů Achillovy šlachy. Před zahájením sběru dat provedli minimálně 20 pilotních měření za účelem zajištění konzistence.

4.1.9 Statistická analýza dat

Statistická analýza dat byla provedena v softwaru R pomocí balíčků irr a plotrix. Hlavní kroky zahrnovaly:

Výpočet intraclass korelačních koeficientů (ICC) s 95% intervaly spolehlivosti pomocí „two-way“ modelu, typu „agreement“ a analýzou jednotkových i průměrných hodnot. Interpretace hodnot ICC byla stanovena takto:

- $< 0,50$ – špatná, $0,50–0,75$ – mírná, $0,75–0,90$ – dobrá, $> 0,90$ – vynikající reliabilita.

Nejprve byla všechna data prověřena na přítomnost extrémních hodnot ($\text{průměr} \pm 3 \text{ SD}$), avšak žádná z nich nesplnila předem stanovená kritéria vyloučení. Pro posouzení systematické chyby mezi opakovanými měřeními při okamžité spolehlivosti byly vždy porovnány dvě měření (1 vs 2, 2 vs 3 a 1 vs 3) pomocí analýzy Bland–Altman. Pro každý pár byla vypočtena střední odchylka (bias) a 95% limity shody; statistická významnost bias byla testována párovým t-testem. Velikost zjištěné bias byla poté porovnána s minimální detekovatelnou změnou (MDC), aby se určilo její klinické význam.

- Pro vyhodnocení okamžité reliability byly porovnávány tři jednotlivá měření v každé SM (mezery 10–15 s bez reposice).
- Krátkodobá (10–15 minut) a mezi-denní (24 hodin) reliabilita byla vyhodnocována porovnáním průměrů příslušných sezení.
- Dlouhodobá (mezi-vlnová) reliabilita byla posuzována porovnáním průměrů Session 1–3 v rámci tří vln.
- Inter-rater reliabilita byla vyhodnocena porovnáním měření získaných od různých operátorů (Session 1 versus Session 5).

Koeficient variace (CV) byl vypočten dle vzorce: $(\text{směrodatná odchylka} / \text{průměr}) \times 100$. Směrodatná chyba měření (SEM) byla odvozena pomocí balíčku plotrix (verze 3.8-4) v R. Minimální detekovatelná změna (MDC) se stanovila vzorcem: $1,96 \times \text{SEM} \times \sqrt{2}$. Analyzovány byly všechny platné datové body; žádné odlehlé hodnoty nebyly vyloučeny.

4.2 Randomizovaná kontrolovaná studie

4.2.1 Design studie

Tato studie byla navržena k porovnání dvou terapeutických přístupů a designem šlo o randomizovanou kontrolovanou studii (RCT) s úrovní důkazů 2. Studie měla primárním cílem porovnat efektivitu léčebných protokolů Alfredson a Silbernagel u kompetitivních sportovců s jednostrannou tendinopatií Achillovy šlachy. Sekundárně bylo sledováno, zda intervence způsobují biomechanické nebo strukturální změny v Achillově šlaše a zda dochází ke změnám v silové vytrvalosti plantárních flexorů.

4.2.2 Účastníci

Do studie bylo zařazeno celkem 22 kompetitivních sportovců. Pro primární klinický výstup (změna skóre VISA-A mezi baseline a 6. týdnem) a sekundární výstupy (Heel-Rise Test – HRT a tuhost šlachy – STIF) byla ex-post provedena analýza statistické síly (post-hoc power analysis) v programu R pomocí balíčku pwr (ver. 1.3-0). Síla byla počítána pro párový t-test (před × po), protože obě terapeutické větve byly pro účely této analýzy sloučeny do jednoho souboru ($n = 22$). Efektové velikosti byly odvozeny jako Cohenovo d z rozdílových (change-score) dat. VISA-A, Cohen $d = 1,21$, Síla = 0,99 ($\alpha = 0,05$, dvoustr.), HRT, Cohen $d = 1,29$, Síla = 0,99 ($\alpha = 0,05$, dvoustr.) a STIF, Cohen $d = 0,71$, Síla = 0,86 ($\alpha = 0,05$, dvoustr.).

4.2.2.1 Kritéria pro zařazení:

- Věk 18–40 let.
- Jednostranná tendinopatie Achillovy šlachy s bolestí trvající déle než 2 měsíce.
- Klinicky diagnostikovaná tendinopatie Achillovy šlachy založená na bolesti při funkci (během zátěže Achillovy šlachy) a potvrzená ultrazvukovým vyšetřením (zjištění degenerativních změn šlachy) provedeným jedním výzkumníkem.
- Sportovci trénovali alespoň třikrát týdně před nástupem tendinopatie, méně než 3 měsíce bez tréninku a méně než 6 měsíců od poslední soutěže nebo zápasu.
- Účastníci měli za cíl návrat na původní úroveň ve svém sportu a byli ochotni přestat užívat jiné léčebné intervence nejméně 2 týdny před začátkem studie.

4.2.2.2 Kritéria pro vyřazení:

- V minulosti došlo k ruptuře Achillovy šlachy.
- Kortikosteroidová injekce v oblasti Achillovy šlachy během posledních 6 měsíců.
- Přítomnost jiných poranění dolních končetin nebo operací během posledních 6 měsíců (např. ruptura svalu, zlomenina).
- Neurologická, systémová nebo autoimunitní onemocnění (např. neuropatie, diabetes typu 1, revmatoidní artritida).

Účastníci byli nejprve informováni o studii lékařem, který předal kontaktní údaje koordinátorovi studie. Koordinátor zaslal předvýběrový dotazník a na základě jeho výsledků byl proveden ultrazvukový screening. Finální zařazení bylo učiněno po podepsání informovaného souhlasu. Následovala dvoutýdenní washout fáze před provedením základního měření.

Studie byla schválena Etickou komisí Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy (ID: 254/2021) a všichni účastníci podepsali písemný informovaný souhlas.

4.2.3 **Zahájení intervence**

Po zařazení do studie, na základech vstupních kritérií následovala dvoutýdenní „washout“ fáze pro minimalizaci efektu předešlých terapií. Při druhé schůzce, která proběhla po washout fázi, byly zaznamenány následující údaje:

- Pohlaví, věk, váha.
- Sport, počet tréninkových sezení týdně, doba působení ve sportu.
- Délka trvání bolesti v oblasti Achillovy šlachy a doba bez soutěžního sportu.
- Výsledek palpce.

Základní hodnocení bylo provedeno před randomizací a sloužilo jako referenční bod pro následné měření.

4.2.4 Randomizace a přiřazení intervencí

Po dokončení základního měření byli účastníci randomizováni do dvou skupin v poměru 1:1 pomocí permutovaných bloků stratifikovaných podle věku. Randomizace studie byla provedena pomocí Study Randomizer (2017), webové služby pro randomizaci.

- **Skupina AG (Alfredson):** Účastníci prováděli Alfredsonův excentrický protokol.
- **Skupina SG (Silbernagel):** Účastníci prováděli Silbernagel protokol.

4.2.5 Intervence

Obě intervence trvaly 12 měsíců a byly založeny na zásadě udržení bolesti Achillovy šlachy během tréninku na úrovni pod 2/10 dle vizuální analogové škály (VAS).

4.2.5.1 *Alfredsonův protokol (Skupina AG):*

- Trénink se prováděl dvakrát denně na obou nohách.
- Účastníci prováděli nejprve koncentrické zvedání paty na obou nohách a následně excentrická pokládání paty na jedné noze dolů (výpon).
- Protokol obsahoval 15 opakování a 3 sady na každé noze s variantami při nataženém a pokrčeném koleni (celkem 45 opakování v pokrčené a 45 opakování v natažené pozici, tedy 180 opakování denně).
- Cvičení se na začátku prováděla pouze s vlastní tělesnou hmotností; progresivně bylo možné přidávat zátěž (5, 10 a 15 kg) na základě absence omezující bolesti během cvičení.

4.2.5.2 Silbernagel protokol (Skupina SG):

- Účastníci cvičili každý den s výjimkou první fáze, kdy cvičili každý druhý den.
- Protokol byl rozdělen do 4 fází, přičemž každá fáze zahrnovala různé varianty cvičení zaměřených na koncentrické a excentrické zvedání lýtek, cvičení v sedě, na stupínku, bez stupínku, rychlé skoky a cvičení s přidanou zátěží.
- Počet opakování se lišil v jednotlivých fázích: fáze 1 – 135 opakování, fáze 2 – 240 opakování, fáze 3 – 255 opakování, fáze 4 – 150 opakování.
- Progres byl podmíněn udržením bolesti pod 5/10 na VAS při cvičení a absencí zvýšení ranní ztuhlosti či bolesti během týdne.
- Celkově bylo možné postupně přidávat zátěž až do maximálně 15 kg.

Účastníci vedli cvičební deník, který zaznamenával jejich dodržování protokolu a subjektivní hodnocení bolesti.

4.2.6 Měření

4.2.6.1 Primární měření:

VISA-A dotazník:

Tento dotazník, který hodnotí bolest, funkci, každodenní a sportovní aktivity, je nejpoužívanějším nástrojem ve studiích tendinopatie Achillovy šlachy. Skóre se pohybuje od 0 (plné omezení a bolest) do 100 (žádná bolest či funkční omezení). (viz. Příloha 5)

- Dotazník byl přeložen do češtiny metodou zpětného překladu a byl poprvé administrativně proveden po dvou týdnech úvodní fáze zařazení účastníka do studie.
- VISA-A byl proveden při baseline a následně v týdnech 3, 6, 13, 26, 39 a 52.

4.2.6.2 Sekundární měření:

Silová vytrvalost plantární flexorů (Heel Rise Test – HRT):

Pro vyhodnocení silové vytrvalosti plantárních flexorů byl použit Heel Rise test, který byl standardizován dle protokolu popsaného ve studii Silbernagel (Silbernagel et al. 2010). Klíčové aspekty standardizace zahrnovaly:

- **Pozice účastníka:** Sportovec byl měřen v kontrolovaných podmínkách ve stoje přednožím na schodu po provedení zahřátí před testováním.
- **Provádění testu:** Účastník prováděl opakované výpony na jedné noze až do vyčerpání, dle stanoveného tempa (1 výpon za 2 sekundy) nebo ztráty správného rozsahu pohybu (méně jak 80% maximální výšky paty během výponu). Počet výponů byl zaznamenáván spolu s případnou bolestí.
- **Kritéria ukončení:** Zachování správné techniky bylo zásadní; test byl ukončen, pokud nebylo možné dodržet požadované tempo nebo výšku výponu, jak je uvedeno ve zmíněné studii.
 - HRT měření probíhalo při baseline a po 6 týdnech intervence.

Achillova šlacha – tuhost (STIF):

Měření Měření tuhosti šlachy (v N/m) bylo prováděno podle protokolu použitých ve studii reliability (Volesky et al. 2025):

- **Pozice a příprava:** Sportovci byli umístěni do pozice na bedně s úhly v kotníku a koleni nastavenými na 90° (ověřeno pomocí goniometru).
- **Měřicí body:** Tuhost šlachy byla měřena na dvou definovaných místech – distálně (1 cm proximálně od tuber calcanei) a proximálně (6 cm proximálně od tuber calcanei). Před prvním měřením byly tato místa označena permanentním markerem k zajištění konzistence mezi měřeními.
- **Opakování:** U každého měřicího bodu byla provedena série tří opakování.
 - STIF měření probíhalo při baseline, po 3 týdnech a po 6 týdnech intervence.

Achillova šlacha – příčný řez (CSA):

Ultrazvukové Ultrazvukové vyšetření bylo provedeno v jednotné a reprodukovatelné poloze:

- **Pozice pacienta:** Sportovec ležel na břiše, přičemž byl kotník umístěn tak, aby byl přesně v 90° úhlu (ověřeno pomocí goniometru).
- **Vyhodnocení:** Ultrazvukové měření se zaměřovalo na stanovení příčného řezu šlachy (CSA v mm²) a dalších diagnostických strukturálních parametrů spojených s tendinopatií.
 - Ultrazvukové měření probíhalo při baseline a po 6 týdnech intervence.

4.2.7 Statistická analýza dat

Analýza dat byla provedena pomocí softwaru R (verze 3.6.2), funkcí `t.test`, balíčky `lme4`, `lmerTest`, `emmeans` a `car`. Statistická významnost byla stanovena na hladině $\alpha = 0.05$ oboustranně.

4.2.7.1 *Primární analýza*

- Byl proveden nepárový t-test, který neodhalil rozdíly mezi skupinami pro sledované proměnné.
- Pro analýzu primárních (VISA-A) i sekundárních (HRT, tuhost AT a CSA) výstupů byl dále použit párový t-test, který srovnával změnu z baseline do 6 týdne mezi oběma skupinami.

4.2.7.2 *Sekundární analýzy*

- Pro hodnocení změn u obou protokolů v čase byl použit párový t-test (baseline vs. 6 týdnů), který byl doplněn ANCOVA smíšeným lineárním modelem, Kenward-Rogerovou aproximací, Bonferroniho testem a Cohenovým d (baseline vs. 3 týdny vs. 6 týdnů).
- Pro ověření globálního efektu času byla provedena jednofaktorová opakovaná ANOVA analýza.
- Vztah mezi změnami VISA-A, tuhostí AT a CSA byl analyzován vícenásobným regresním modelem. Pro zhodnocení, zda je změna tuhosti nebo CSA asociovaná s klinickým zlepšením.

5 Výsledky

5.1 Studie reliability

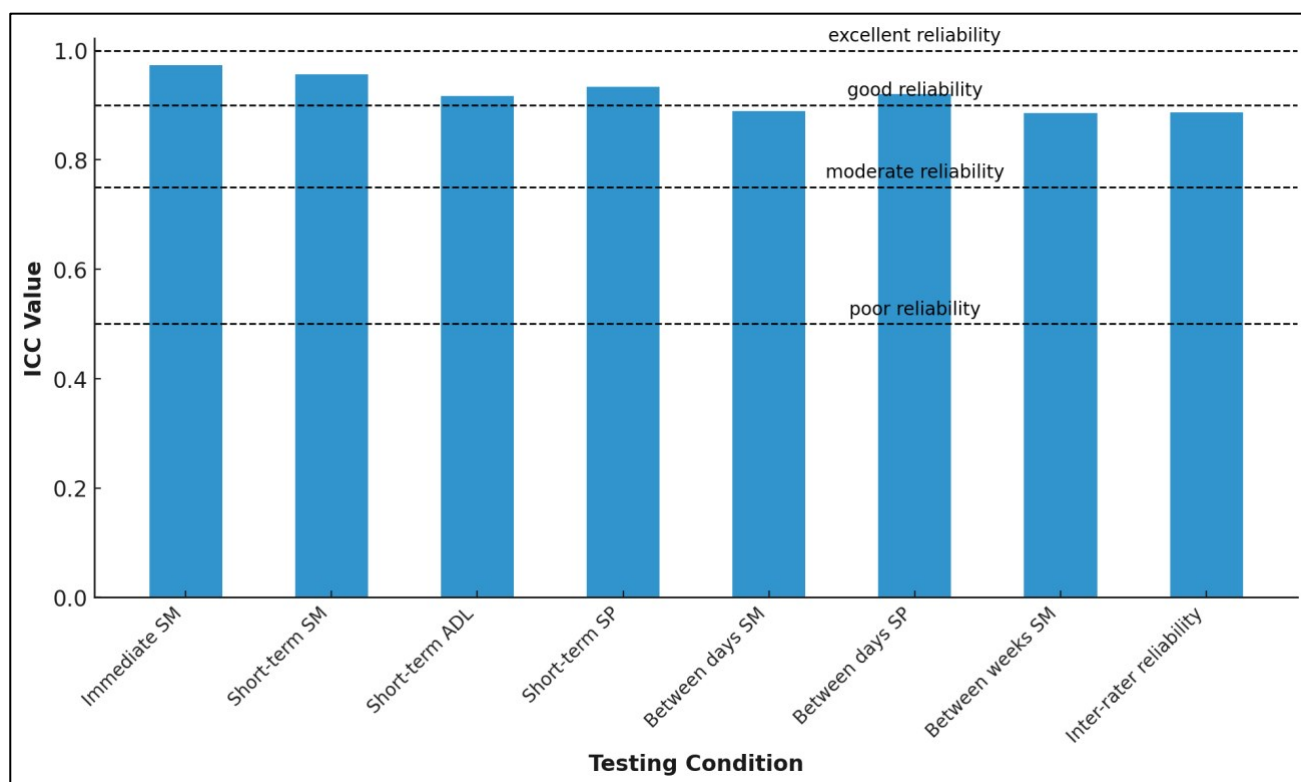
Vzorek se skládal ze šesti mužů a dvou žen, s mediánem věku 27,5 let (IQR 3,5), mediánem tělesné hmotnosti 75 kg (IQR 15,5) a mediánem výšky 178 cm (IQR 5,8). Účastníci v průměru vykonávali 5,5 hodiny sportovního tréninku týdně (IQR 3). Mediánová tuhost Achillovy šlachy naměřená v proximálním bodě byla 852,5 N/m (IQR 194,5) a v distálním bodě 1019,3 N/m (IQR 129,5). Reliabilita měření tuhosti Achillovy šlachy pomocí MyotonPRO, prováděných v různých časových intervalech a podmínkách, se pohybovala od dobré po vynikající (viz Tabulka 1). Okamžitá test-retest reliabilita, jak při měření bez reposice, tak po reposici účastníků, byla vynikající s dolní hranicí 95% intervalu spolehlivosti přesahující hodnotu 0,9. Test-retest reliabilita, zahrnující vliv času (1 den až 2 týdny) a pohybových aktivit (simulace ADL a SP), dosáhla dobré úrovně s dolní hranicí 95% intervalu spolehlivosti nad 0,75. (viz. Obrázek 12)

V rámci podskupinové analýzy byly porovnány měřicí body na šlaše. Proximální bod vykázal ICC 0,966 (95 % CI 0,958–0,973) a distální bod ICC 0,956 (95 % CI 0,944–0,966) pro okamžité standardizované měření (SM). Bland–Altmanova analýza odhalila statisticky významné negativní systematické biasy v rozmezí -5,43 až -11,52 N/m (všechny $p < 0,001$), avšak všechny hodnoty biasu zůstaly v intervalu minimálně detekovatelné změny (MDC ~15 – ~62 N/m), což naznačuje, že pozorované rozdíly nejsou klinicky významné. (viz. Tabulka 1, Příloha 9)

Výsledky byly publikovány v „Journal of Functional Morphology and Kinesiology“ – viz. Příloha 3 (Volesky et al. 2025)

Testing condition	ICC (95% CI)	CV (%)	SEM (N/m)	MDC (N/m)	Median (IQR) (N/m)
Immediate SM	0.973 (0.968 to 0.978)	15.99	3.95	15.46	951 (238.25)
Short-term SM	0.956 (0.929 to 0.974)	16.14	12.50	49.01	948 (232)
Short-term ADL	0.917 (0.875 to 0.945)	16.00	10.88	42.63	955.5 (236.5)
Short-term SP	0.933 (0.891 to 0.96)	15.74	12.26	48.07	944 (237.5)
Between days SM	0.889 (0.802 to 0.938)	16.51	15.65	61.34	945.5 (254.75)
Between days SP	0.920 (0.859 to 0.955)	16.67	15.91	62.35	956.5 (234.75)
Between weeks SM	0.886 (0.811 to 0.931)	15.82	13.05	51.17	953 (219)
Inter-rater reliability	0.887 (0.798 to 0.937)	16.48	15.61	61.21	942 (252.5)

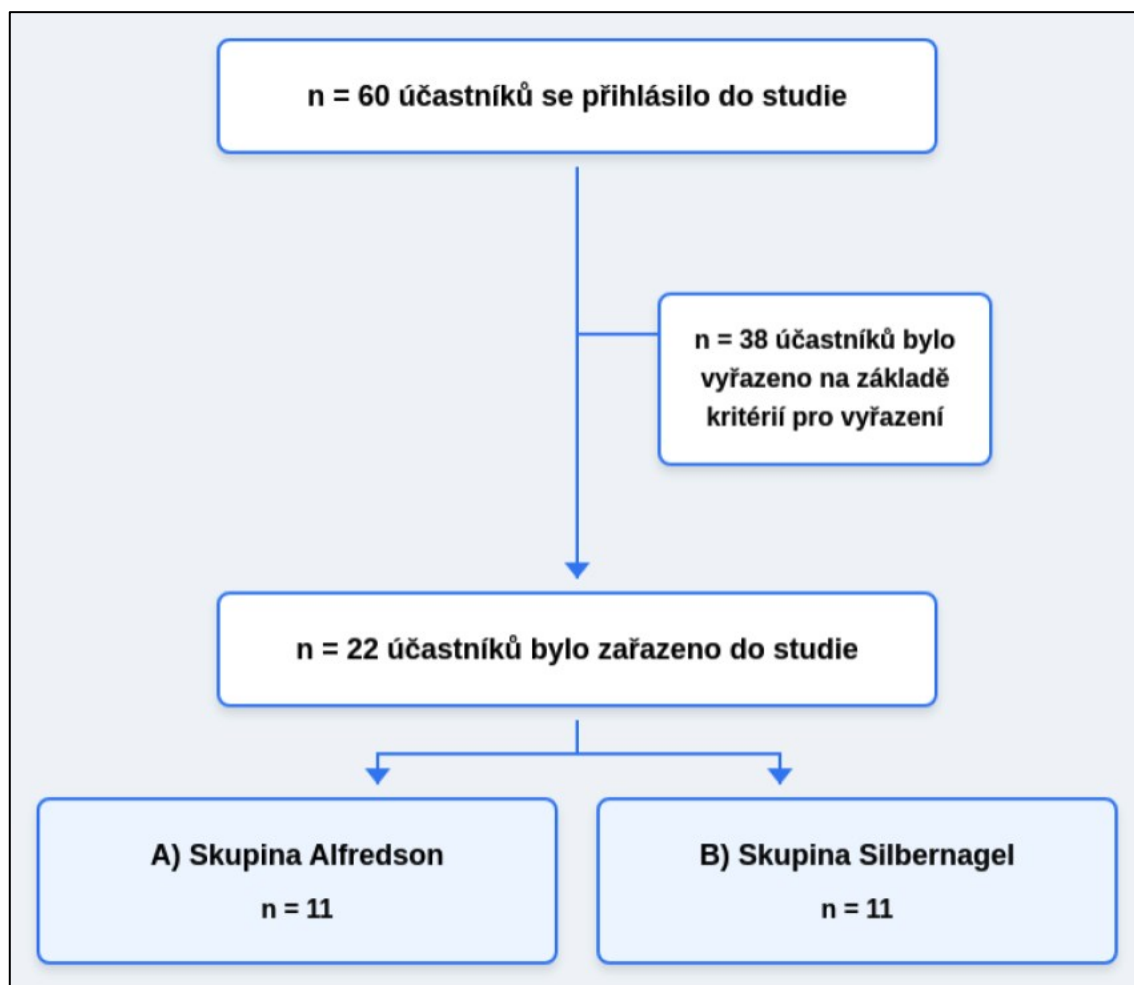
Tabulka 1. Shrnutí výsledků spolehlivostních analýz pro jednotlivé testovací podmínky.



Obrázek 12. Graf výsledků – studie reliability.

5.2 Randomizovaná kontrolovaná studie

Vzorek se skládal z 22 účastníků z nichž 2 byli vyřazeni z osobních důvodů. Ze vzorku 20 účastníků bylo zastoupeno 7 žen a 13 mužů, s mediánem věku 28,5 let (8,5 IQR), mediánem tělesné hmotnosti 79 kg (IQR), mediánem výšky 178,5 cm (IQR), medián 5 (IQR 2,75) tréninků týdně, medián 12,5 (IQR 14) roků v kompetitivním sportu a mediánem symptomů tendinopatie 14 měsíců (IQR 25). (viz. Obrázek 13)



Obrázek 13. Flowchart průběhu studie.

5.2.1.1 *Mezi-skupinové srovnání*

Mezi skupinami Alfredson (AG) a Silbernagel (SG) se pomocí nepárového t-testu nenašly statisticky významné rozdíly v žádném z primárních či sekundárních výsledků (VISA-A, HRT, STIF, CSA; vše $p > 0,30$). Skupiny proto byly při hodnocení časového trendu sloučeny.

5.2.1.2 *Primární výsledky – VISA-A*

Párový t-test ukázal klinicky i statisticky významné zlepšení mezi baselin a 6. týdnem ($\Delta = +16,7$ bodu; $p < 0,001$; $d = 1,21$). Doplnující smíšený lineární model (Kenward-Roger DF) potvrdil silný efekt času ($F(2, 38) = 22,6$; $p = 3,4 \times 10^{-7}$). První klinicky důležitý skok (+12,3 bodu) nastal již po 3 týdnech, zatímco rozdíl mezi 3. a 6. týdnem (+4,8 bodu) signifikantní nebyl ($p = 0,24$). (viz. Tabulka 2)

Time point	Mean $\pm$ SE	Δ vs Baseline	95 % CI Δ	p (Bonf.)	Cohen d_x
Baseline	59.3 $\pm$ 2.9	–	–	–	–
3 weeks	71.5 $\pm$ 3.1	+12.3	+6.9 – +17.6	0.0001	1.04
6 weeks	76.3 $\pm$ 3.0	+17.1	+11.5 – +22.7	<0.0001	1.30

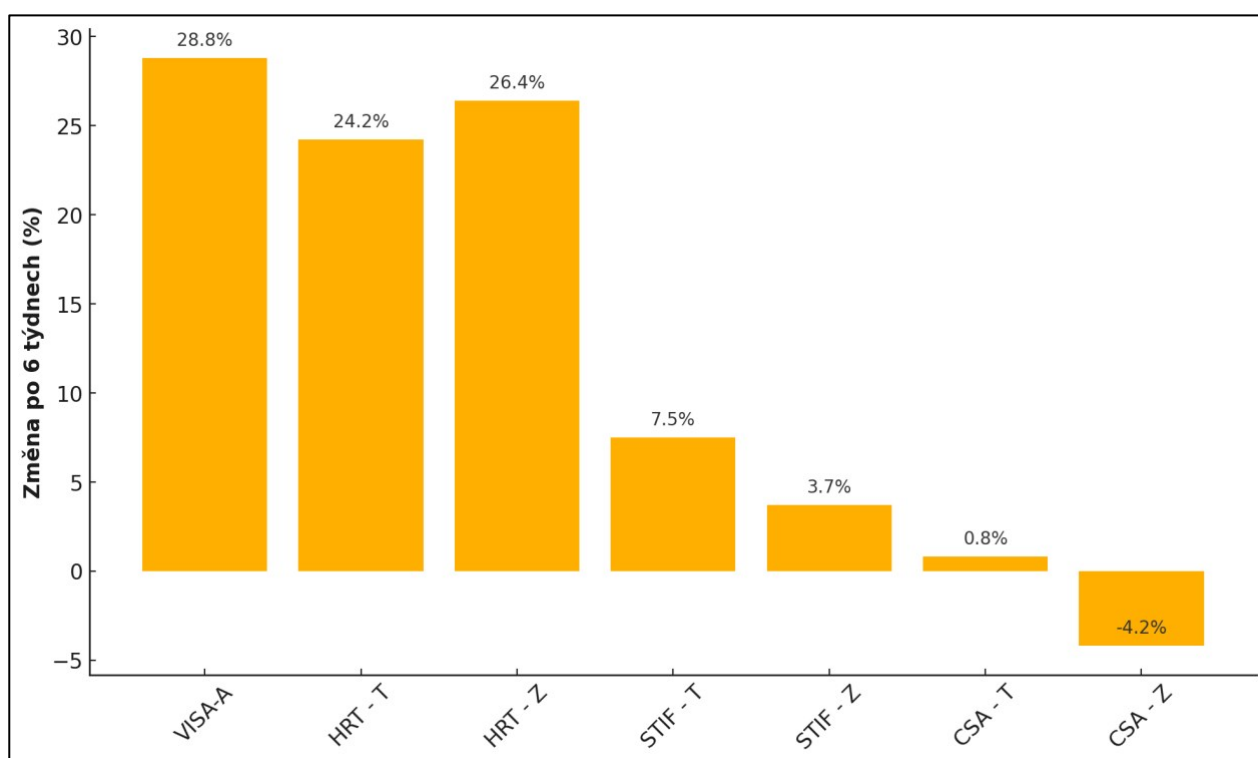
Tabulka 2. Vyhodnocení primárních výsledků – změna bolesti a funkce šlachy.

5.2.1.3 Sekundární výsledky

Heel-Rise Test (HRT) – tendinopatická noha se zlepšila o +6,3 výponu ($\approx +25\%$; $p < 0,001$; $d = 1,29$) a smíšený model potvrdil efekt času ($F(1, 19) = 32,2$; $p < 0,001$).

Tuhost šlachy (STIF) – postižená šlacha zesílila o +65 N/m ($p = 0,006$; $d = 0,71$); model $F(1, 18) = 9,6$ ($p = 0,006$). U zdravé šlachy změna nebyla signifikantní.

Příčný řez (CSA) – u zdravé šlachy se párovým t-testem zjistil malý pokles ($-2,9 \text{ mm}^2$; $p = 0,015$), ale v smíšeném modelu efekt času významný nebyl ($F(1, 17) = 1,29$; $p = 0,27$). Postižená šlacha CSA neměnila. (viz. Obrázek 14, viz. Tabulka 3)



Obrázek 14. Graf změn v procentech po 6 týdnech intervence – randomizovaná kontrolovaná studie.

Variable	Baseline (Mean $\pm$ SD)	Week 6 (Mean $\pm$ SD)	$\Delta \pm$ SE	p (t-test)	F (Time)
HRT – T (reps)	26.0 $\pm$ 3.7	31.8 $\pm$ 4.7	+6.3 $\pm$ 1.1	<0.001	32.2***
HRT – Z (reps)	25.8 $\pm$ 4.2	32.6 $\pm$ 5.1	+6.8 $\pm$ 1.2	<0.001	–
STIF – T (N/m)	869 $\pm$ 149	942 $\pm$ 155	+65 $\pm$ 21	0.006	9.6**
STIF – Z (N/m)	915 $\pm$ 112	949 $\pm$ 127	+34 $\pm$ 23	0.15	–
CSA – T (mm ²)	64.1 $\pm$ 21.6	64.6 $\pm$ 22.0	+0.5 $\pm$ 1.2	0.69	–
CSA – Z (mm ²)	69.7 $\pm$ 33.0	66.8 $\pm$ 30.7	–2.9 $\pm$ 1.0	0.015	1.3 (n.s.)

* p hodnoty referují k párovému t-testu (Baseline $\leftrightarrow$ Week 6). ** p < 0,01,

*** p < 0,001 (smíšený model).

Legenda – T – tendinopatická končetina, Z – zdravá končetina

Tabulka 3. Shrnutí sekundárních výsledků: HRT – výponový test, STIF – tuhost šlachy, CSA – příčný řez šlachou na ultrazvuku.

5.2.1.4 *Vztah tuhosti a CSA AT ke klinickému stavu*

Vícenásobná regrese Δ VISA $\sim$ Δ tuhost + Δ CSA + Věk + Pohlaví + Symptomy vysvětlila jen 3 % variability (adj. $R^2 = -0,03$; p = 0,52). Změny tuhosti ani CSA tedy samy o sobě nebyly asociovány s velikostí klinického zlepšení.

Výsledky studie byly publikovány na mezinárodní konferenci – „Fifth World Congress of Sport Physiotherapy, 14-15 June 2024 Oslo, Norway“ – viz. Příloha 4.

6 Diskuze

6.1.1 Studie reliability

Studie poskytla nové poznatky o reliabilitě měření tuhosti Achillovy šlachy pomocí Myoton-PRO ve standardizované pozici. Hlavní zjištění ukazují, že navržená poloha umožňuje vysoce spolehlivá měření nejen bezprostředně, ale i po opakované re-pozici účastníka a v časových odstupech až dvou týdnů. Podskupinová analýza pro proximální a distální body potvrdila, že obě lokality poskytují srovnatelně vysokou spolehlivost ($ICC \approx 0,96$), takže daná metoda je spolehlivá pro měření inzerční i střední porce šlachy.

Tato spolehlivost se potvrdila i po dvou různých simulovaných zátěžích: běžných denních aktivitách (ADL) a sportovní zátěži (SP). Ani jedna z nich nevyvolala změnu tuhosti – naznačuje to, že jednorázové nízké až středně-intenzivní zatížení šlachy bezprostředně nemění, což usnadňuje plánování měření v klinických studiích.

Bland–Altmanova analýza odhalila pouze malé, klinicky nevýznamné systematické biasy. Minimálně detekovatelná změna ($MDC \approx 15\text{--}62\text{ N/m}$) tak poskytuje užitečný práh pro odlišení reálného efektu terapie od náhodné odchylky. V porovnání s předchozími pracemi, které udávaly nižší ICC a podstatně vyšší SEM při poloze vleže s volným kotníkem, dosáhl náš protokol lepších výsledků ($ICC\ 0,89\text{--}0,97$; $SEM\ 4\text{--}16\text{ N/m}$). Standardizovaná pozice v sedě tedy zřejmě snižuje variabilitu způsobenou rozdílným úhlem hlezna a různým napětím m. triceps surae.

Jelikož poloha v sedě minimalizuje pasivní tah plantárních flexorů, lze předpokládat, že měření lépe odráží skutečnou tuhost samotné šlachy. Přesto doporučujeme, aby budoucí práce doplnily záznam svalové aktivity (EMG), čímž se rozšíří poznání ohledně možného efektu svalu na měření tuhosti šlachy zařízením MyotonPRO.

Ve vztahu k dalším metodám (např. shear-wave elastografie) přináší Myoton-PRO výhodu menší závislosti na operátorovi a snadnější interpretace číselných dat. Portabilita a jednoduchost měření rozšiřuje možnosti pro monitorování průběhu rehabilitace v ambulantním prostředí či přímo na sportovišti. Limitem zůstává, že kohorta zahrnovala pouze zdravé jedince.

Je stále nutné zvážit, i když simulované ADL a SP neovlivnily tuhost bezprostředně, že kumulativní zatížení během několika týdnů může šlachu ovlivnit – tento dlouhodobý vliv zátěže by měl být předmětem dalšího zkoumání.

Celkově lze konstatovat, že standardizovaná pozice v sedu, zajištění stejného úhlu hlezna a umístění sondy jsou klíčové faktory zajišťující vynikající reliabilitu Myoton-PRO. Tyto protokoly poskytují výzkumníkům i klinikům spolehlivý rámec pro objektivní sledování biomechanických změn Achillovy šlachy napříč různými časovými horizonty a zátěžovými situacemi.

6.1.2 Randomizovaná kontrolovaná studie

V randomizované kontrolované studii zaměřené na léčbu tendinopatie Achillovy šlachy bylo zjištěno, že oba zvolené rehabilitační postupy – Alfredsonův excentrický protokol i kombinovaný Silbernagel protokol – vedou k výraznému klinickému zlepšení, a to bez významného rozdílu v efektivitě. Konkrétně nebyl prokázán statisticky významný rozdíl mezi skupinami v žádném z hlavních hodnocených výstupů.

Obě skupiny vykázaly po 6 týdnech léčby srovnatelné zvýšení skóre VISA-A (hodnocení bolesti a funkce šlachy), oba protokoly vykázaly výrazné zlepšení výkonu ve výponovém testu (HRT) – průměrně o $\approx 25\%$ opakování u obou končetin, a také nárůst mechanické tuhosti šlachy (STIF) o $\approx 7\%$ výhradně u tendinopatické nohy. Tyto nálezy naznačují, že terapeutický účinek spočívá především v samotném cíleném zatěžování, na čemž oba přístupy staví obdobně. Naše výsledky jsou v souladu s nedávnou randomizovanou studií, která také nezjistila rozdíly v klinickém efektu mezi Alfredsonovou čistě excentrickou léčbou a Silbernagelovým kombinovaným programem – oba protokoly vedly k významnému ústupu potíží a zlepšení funkce během sledovaného období. (Habets et al. 2021) Z praktického pohledu to znamená, že v rámci stanovené délky intervence lze zvolit kterýkoli z těchto ověřených protokolů podle preferencí pacienta či terapeuta, aniž by se tím kompromitoval léčebný výsledek.

Tato studie jako první odhalila adaptaci tendinopatické šlachy na zátěž a jako první prokazuje možnost biomechanických parametrů i v již patologické tkáni. Zvýšení tuhosti (STIF) u postižené šlachy lze interpretovat jako adaptaci tkáně na zátěž, jež zvyšuje odolnost tkáně v zatížení. Naopak absence změny STIF u zdravé šlachy naznačuje buď již dosažený fyziologickou adaptaci, nebo to, že délka a intenzita intervence nebyly pro navození další adaptace nutná. Současný nárůst HRT u obou končetin podporuje předpoklad, že cvičení zvyšuje silovou vytrvalost plantárních flexorů celkově – tedy nejen u končetiny s tendinopatií.

Dalším zjištěním naší studie je rozdíl v morfologické adaptaci mezi postiženou a zdravou končetinou. Zatímco u zdravé Achillovy šlachy došlo během intervence k mírnému nárůstu plochy příčného průřezu (CSA), u tendinopatické (postižené) šlachy jsme žádnou významnou změnu CSA nepozorovali. V rámci smíšeného modelu statistické analýzy se efekt času ani intervence na CSA neprojevil jako podstatný, což naznačuje, že strukturální remodelace postižené šlachy byla v krátkodobém horizontu

6 týdnů minimální. Jedním z možných vysvětlení je, že chronicky postižená šlacha již měla na počátku zvětšenou CSA vlivem degenerativních změn. Je také možné, že procesy hojení a reorganizace kolagenních vláken probíhají bez výraznější změny celkového průřezu šlachy, případně že případné morfologické změny vyžadují delší časové období či intenzivnější podněty, aby byly měřitelné. Naproti tomu u zdravé šlachy, která dosud nebyla zatěžována léčebným programem, mohlo dojít k adaptivní hypertrofii reakčně na zvýšenou zátěž (byť i zde byly změny relativně malé). Tato diskrepance mezi strukturální odezvou zdravé a postižené šlachy podporuje názor, že klinické zlepšení není nutně provázeno výraznou změnou makrostruktury šlachy, vyšší tuhost šlachy (STIF) a lepší HRT totiž ukazují, že funkční a mechanická adaptace mohou předcházet viditelné remodelaci tkáně. Tendinopatická šlacha může zpevňovat svou vnitřní strukturu a zvyšovat tuhost spíše kvalitativní restrukturalizací kolagenní sítě než kvantitativním růstem objemu tkáně. Z praktického hlediska to znamená, že úspěšnost rehabilitace Achillovy tendinopatie se nemusí projevit změnou velikosti šlachy viditelnou na ultrazvuku, a přesto může docházet ke zlepšení funkce a ústupu bolesti.

Dalším významným poznatkem je nízká asociace biomechanických ukazatelů pro s klinickou odezvou. V naší studii jsme zaznamenali jen slabou asociaci mezi změnami objektivních parametrů šlachy (konkrétně Δ STIF – změna tuhosti, a Δ CSA – změna průřezu) a zlepšením subjektivního skóre VISA-A (Δ VISA). Míra zvýšení tuhosti či změny morfologie šlachy vykazala nízkou asociaci, jak výrazně se u pacienta zlepšil symptomy a funkční stav. Tento závěr je v souladu s recentními poznatky, že úleva od bolesti a funkční zlepšení u Achillovy tendinopatie nemusí přímo souviset s měřitelnými změnami struktury či mechanických vlastností šlachy. (Murphy et al. 2023)

Bolest a klinický stav šlachy jsou ovlivněny komplexním souborem faktorů – zahrnují nejen strukturální stav šlachy, ale také neurofyzilogické procesy, míru zánětlivé aktivity, adaptaci svalově-šlachové jednotky jako celku a v neposlední řadě i psychologické aspekty vnímání bolesti. Proto není překvapivé, že zlepšení VISA-A může nastat i bez jasné korelace s objektivními ukazateli, jako je tuhost či velikost šlachy. Pro výzkum to znamená výzvu identifikovat takové indikátory a biomarkery, které by lépe odrážely nebo předvíдалy klinickou odpověď na léčbu. Například kombinace mechanických měření s funkčními testy a hodnocením psychického stavu by mohla poskytnout ucelenější obrázek o pokroku pacienta.

Celkově vzato naše výsledky potvrzují význam objektivního měření biomechanických vlastností šlachy v průběhu terapie, avšak zároveň ukazují, že tyto parametry je třeba interpretovat s ohledem na širší klinický kontext. Objektivní měřicí metody, jako je MyotonPRO či zobrazovací techniky, přinášejí cenné informace o stavu tkáně a jejích změnách, které mohou doplnit klinický stav pacienta. Naše studie nicméně podtrhuje, že pro plné pochopení účinku terapie u tendinopatie je zapotřebí integrovat vícero hledisek. Další výzkum by se proto měl zaměřit na lepší pochopení vztahu mezi strukturálními/biomechanickými změnami a pacientovým vnímáním obtíží.

Možností je například, prodloužení délky intervence či sledování pacientů v delším časovém horizontu, aby se zjistilo, zda se časem neprojeví rozdíly mezi různými typy zátěžových protokolů nebo zda dojde k pozvolné strukturální adaptaci šlachy. Dále by bylo vhodné ověřit naše závěry na větším souboru pacientů v běžné klinické praxi (včetně různých věkových či výkonnostních skupin), což by zvýšilo obecnou validitu zjištění. Smysl by mělo také detailnější sledování průběžných (kumulativních) změn v průběhu terapie – například pravidelné měření VISA-A a biomechanických parametrů v kratších intervalech – k zachycení dynamiky adaptace šlachy.

V neposlední řadě navrhujeme využít pokročilejších biomechanických modelů a zobrazovacích metod ke zkoumání změn ve struktuře a materiálových vlastnostech šlachy. To by mohlo pomoci odhalit jemnější adaptace, které se prostým měřením průřezu či celkové tuhosti neprojeví, a lépe propojit strukturální změny s funkčními dopady. Kombinace těchto směrů by mohla v budoucnu přispět k predikci, kteří pacienti budou na danou léčbu reagovat nejlépe, a k optimalizaci rehabilitačních protokolů pro tendinopatii Achillovy šlachy.

7 Závěr

7.1.1 Studie reliability

Studie reliability prokázala, že měření mechanických vlastností Achillovy šlachy pomocí přístroje MyotonPRO je spolehlivé a reprodukovatelné. Tato zjištění podporují využití MyotonPRO jako objektivního nástroje pro hodnocení stavu šlachy. Reliabilita měření naznačuje, že zaznamenané změny parametrů šlachy lze s důvěrou přičítat skutečným biologickým změnám. Studie tak poskytla cenný metodický podklad pro kvantitativní sledování účinků rehabilitačních zásahů u Achillovy šlachy a otevírá prostor pro širší aplikaci myotonometrie v klinické diagnostice a výzkumu.

7.1.2 Randomizovaná kontrolovaná studie

Randomizovaná kontrolovaná studie shrnuje, že oba testované rehabilitační protokoly – Alfredsonův excentrický i Silbernagel kombinovaný – vedou u pacientů s Achillovou tendinopatií k výraznému zlepšení klinického stavu. Mezi oběma přístupy nebyly zjištěny významné rozdíly v účinnosti: pacienti v obou skupinách dosáhli srovnatelného snížení bolesti a zlepšení funkce postižené končetiny. Objektivní měření ukázala zvýšení mechanické tuhosti šlachy po intervenci, zatímco průřezová plocha postižené šlachy zůstala bez podstatné změny. To naznačuje, že funkční a symptomatické zlepšení může nastat i bez výrazné strukturální remodelace šlachy v krátkodobém horizontu. Získané poznatky zdůrazňují význam řízeného zatěžování v léčbě Achillovy tendinopatie a potvrzují, že jak excentrický protokol podle Alfredsona, tak kombinovaný protokol podle Silbernagel představují účinné terapeutické strategie.

Zároveň studie poukazuje na omezenou vazbu mezi biomechanickými změnami šlachy a subjektivním zlepšením symptomů, což podporuje potřebu dalšího výzkumu zaměřeného na predikci klinické odezvy. Celkově vzato, naše závěry přispívají k praxi založené na evidenci v rehabilitaci Achillovy šlachy tím, že poskytují vědecky podložené informace pro volbu terapeutického postupu a podtrhují důležitost kombinace objektivních měření s klinickým hodnocením při posuzování úspěšnosti léčby.

Seznam literatury

- Alfredson, Håkan, and Jill Cook. 2007. "A Treatment Algorithm for Managing Achilles Tendinopathy: New Treatment Options." *British Journal of Sports Medicine* 41:211–16. doi:10.1136/bjsm.2007.035543.
- Alfredson, Håkan, and Tom Pietila. 1998. "Heavy-Load Eccentric Calf Muscle Training For the Treatment of Chronic Achilles Tendinosis." 26(3):360–66.
- Apaydin, Nihal, Murat Bozkurt, Marios Loukas, Huseng Vefali, R. Shane Tubbs, and A. Firat Esmer. 2009. "Relationships of the Sural Nerve with the Calcaneal Tendon: An Anatomical Study with Surgical and Clinical Implications." *Surgical and Radiologic Anatomy* 31:775–80.
- Arampatzis, Adamantios, Kiros Karamanidis, and Kirsten Albracht. 2007. "Adaptational Responses of the Human Achilles Tendon by Modulation of the Applied Cyclic Strain Magnitude." *Journal of Experimental Biology* 210(15):2743–53. doi:10.1242/jeb.003814.
- Arya, Shruti, and Kornelia Kulig. 2010. "Tendinopathy Alters Mechanical and Material Properties of the Achilles Tendon." *Journal of Applied Physiology* 108(3):670–75. doi:10.1152/japplphysiol.00259.2009.
- Bossley, Chris J., Bruno Martinelli, Nicola Maffulli, and Clifford C. Raisbeck. 2000. "Rupture of the Achilles Tendon." *JBJS* 82(12):1804.
- Calder, James, Joanna M. Stephen, and C. Niek van Dijk. 2016. "Plantaris Excision Reduces Pain in Midportion Achilles Tendinopathy Even in the Absence of Plantaris Tendinosis." *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 4(12). doi:10.1177/2325967116673978.
- Chang, Yu Jen, and Kornelia Kulig. 2015. "The Neuromechanical Adaptations to Achilles Tendinosis." *Journal of Physiology* 593(15):3373–87. doi:10.1113/JP270220.
- Chen, Wenbo, Kyra L. A. Cloosterman, Sita M. A. Bierma-Zeinstra, Marienke van Middelkoop, and Robert-Jan de Vos. 2024. "Epidemiology of Insertional and Midportion Achilles Tendinopathy in Runners: A Prospective Cohort Study." *Journal of Sport and Health Science* 13(2):256–63. doi:https://doi.org/10.1016/j.jshs.2023.03.007.
- Cheng, Hsin-Yi Kathy, Chun-Li Lin, Hsien-Wen Wang, and Shih-Wei Chou. 2008. "Finite Element Analysis of Plantar Fascia Under Stretch—The Relative Contribution of Windlass Mechanism and Achilles Tendon Force." *Journal of Biomechanics* 41(9):1937–44. doi:10.1016/j.jbiomech.2008.03.028.
- Ciardulli, Maria Camilla, Pasqualina Scala, Valentina Giudice, Antonietta Santoro, Carmine Selleri, Francesco Oliva, Nicola Maffulli, and Giovanna Della Porta. 2022. "Stem Cells From Healthy and Tendinopathic Human Tendons: Morphology, Collagen and Cytokines Expression and Their Response to T3 Thyroid Hormone." *Cells* 11(16):2545. doi:10.3390/cells11162545.
- Citak, Musa, Karsten Knobloch, Knut Albrecht, Christian Krettek, and Tobias Hufner. 2007. "Anatomy of the Sural Nerve in a Computer-Assisted Model: Implications for Surgical Minimal-Invasive Achilles Tendon Repair." *British Journal of Sports Medicine* 41(7):456–58.
- Clain, Michael R., and Donald E. Baxter. 1992. "Achilles Tendinitis." *Foot & Ankle* 13(8):482–87.

- Coombes, Brooke K., Leanne Bisset, and Bill Vicenzino. 2010. "Efficacy and Safety of Corticosteroid Injections and Other Injections for Management of Tendinopathy: A Systematic Review of Randomised Controlled Trials." *The Lancet* 376(9754):1751–67. doi:10.1016/S0140-6736(10)61160-9.
- Cummins, E. J., and B. J. Anson. 1946. "The Structure of the Calcaneal Tendon (of Achilles) in Relation to Orthopedic Surgery, with Additional Observations on the Plantaris Muscle." *Surgery, Gynecology & Obstetrics* 83:107–16.
- Dederer, Katherine M., and Joshua N. Tennant. 2019. "Anatomical and Functional Considerations in Achilles Tendon Lesions." *Foot and Ankle Clinics* 24(3):371–85. doi:10.1016/j.fcl.2019.04.001.
- Van Dijk, C. N., M. N. Van Sterkenburg, J. I. Wiegnerinck, J. Karlsson, and Nicola Maffulli. 2011. "Terminology for Achilles Tendon Related Disorders." *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 19(5):835–41.
- Disser, Nathaniel P., Gregory Ghahramani, Jacob B. Swanson, Susumu Wada, Max Chao, Scott A. Rodeo, David J. Oliver, and Christopher L. Mendias. 2019. "Widespread Diversity in the Transcriptomes of Functionally Divergent Limb Tendons." doi:10.1101/2019.12.18.881797.
- Donoghue, Orna, Andrew J. Harrison, Philip Laxton, and Richard Jones. 2008. "Lower Limb Kinematics of Subjects With Chronic Achilles Tendon Injury During Running." *Research in Sports Medicine* 16(1):23–38. doi:10.1080/15438620701693231.
- Doral, Mahmut Nedim, Mahbub Alam, Murat Bozkurt, Egemen Turhan, Özgür Ahmet Atay, Gürhan Dönmez, and Nicola Maffulli. 2010. "Functional Anatomy of the Achilles Tendon." *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 18(5):638–43. doi:10.1007/s00167-010-1083-7.
- Fry, Hunter J. H. 1986. "Overuse Syndrome, Alias Tenosynovitis/Tendinitis: The Terminological Hoax." *Plastic and Reconstructive Surgery* 78(3):414–17.
- Van Ginckel, Ans, Youri Thijs, Narmin Ghani Zadeh Hesar, Nele Mahieu, Dirk De Clercq, Philip Roosen, and Erik Witvrouw. 2009. "Intrinsic Gait-Related Risk Factors for Achilles Tendinopathy in Novice Runners: A Prospective Study." *Gait and Posture* 29(3):387–91. doi:10.1016/j.gaitpost.2008.10.058.
- Greve, Katarina, Erica Domeij-Arverud, Fausto Labruto, Gunnar Edman, Daniel K. -I. Bring, Gunnar Nilsson, and Paul W. Ackermann. 2012. "Metabolic Activity in Early Tendon Repair Can Be Enhanced by Intermittent Pneumatic Compression." *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 22(4). doi:10.1111/j.1600-0838.2012.01475.x.
- Habets, Bas, Robert E. H. van Cingel, Frank J. G. Backx, Hilco J. van Elten, Peter Zuithoff, and Bionka M. A. Huisstede. 2021. "No Difference in Clinical Effects When Comparing Alfredson Eccentric and Silbernagel Combined Concentric-Eccentric Loading in Achilles Tendinopathy: A Randomized Controlled Trial." *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 9(10):1–10. doi:10.1177/23259671211031254.
- Handoo, Yog Raj. 2024. "Vascularized Palmaris Longus Tendon Graft in Delayed Tendon Injuries of Hand." *Indian Journal of Plastic Surgery*. doi:10.1055/s-0044-1792128.
- Heinemeier, Katja M., Jes Olesen, F. Haddad, Henning Langberg, Michael Kjær, K. M. Baldwin, and Peter Schjerling. 2007. "Expression of Collagen and Related Growth Factors in Rat Tendon and Skeletal Muscle in Response to Specific Contraction Types." *The Journal of Physiology* 582(3):1303–16. doi:10.1113/jphysiol.2007.127639.

- Hess, Gregory William. 2010. "Achilles Tendon Rupture: A Review of Etiology, Population, Anatomy, Risk Factors, and Injury Prevention." *Foot Ankle Spec.* 29(3). doi:10.1177/1938640009355191.
- Iversen, Jonas Vestergård, Else Marie Bartels, and Henning Langberg. 2012. "The Victorian Institute of Sports Assessment–Achilles Questionnaire (VISA-A)—a Reliable Tool for Measuring Achilles Tendinopathy." *International Journal of Sports Physical Therapy* 7(1):76.
- Jeong, Chandong, Sung Eun Kim, Kyu-Sik Shim, Hak Jun Kim, Song Mi, Kyeongsoon Park, and Hae-Ryong Song. 2018. "Exploring the in Vivo Anti-Inflammatory Actions of Simvastatin-Loaded Porous Microspheres on Inflamed Tenocytes in a Collagenase-Induced Animal Model of Achilles Tendinitis." *International Journal of Molecular Sciences* 19(3):820. doi:10.3390/ijms19030820.
- Karamanidis, Kiros, and Gaspar Epro. 2020. "Monitoring Muscle-Tendon Adaptation Over Several Years of Athletic Training and Competition in Elite Track and Field Jumpers." *Frontiers in Physiology* 11. doi:10.3389/fphys.2020.607544.
- Karousou, Evgenia, Mario Ronga, Davide Vigetti, Alberto Passi, and Nicola Maffulli. 2008. "Collagens, Proteoglycans, MMP-2, MMP-9 and TIMPs in Human Achilles Tendon Rupture." *Clinical Orthopaedics and Related Research* 466(7):1577–82. doi:10.1007/s11999-008-0255-y.
- Kirkup, J. 1991. "The Foot, Surgery and Orthopaedy." *The Foot* 1(1):57–58.
- Kothapalli, Chandrasekhar R., and Anand Ramamurthi. 2009. "Biomimetic Regeneration of Elastin Matrices Using Hyaluronan and Copper Ion Cues." *Tissue Engineering Part A* 15(1):103–13. doi:10.1089/ten.tea.2007.0390.
- Kothapalli, Chandrasekhar R., Patricia M. Taylor, Ryszard T. Smoleński, Magdi H. Yacoub, and Anand Ramamurthi. 2009. "Transforming Growth Factor Beta 1 and Hyaluronan Oligomers Synergistically Enhance Elastin Matrix Regeneration by Vascular Smooth Muscle Cells." *Tissue Engineering Part A* 15(3):501–11. doi:10.1089/ten.tea.2008.0040.
- Kubo, Keitaro, and Toshihiro Ikebukuro. 2012. "Time Course of Changes in the Human Achilles Tendon Properties and Metabolism during Training and Detraining in Vivo." 2679–91. doi:10.1007/s00421-011-2248-x.
- Lal, Merlin Rajesh, and Devendra K. Agrawal. 2024. "Chronic Adaptation of Achilles Tendon Tissues Upon Injury to Rotator Cuff Tendon in Hyperlipidemic Swine." *Journal of Orthopaedics and Sports Medicine* 06(02). doi:10.26502/josm.511500146.
- Leung, John L. Y., and James F. Griffith. 2008. "Sonography of Chronic Achilles Tendinopathy: A Case-Control Study." *Journal of Clinical Ultrasound* 36(1):27–32. doi:10.1002/jcu.20388.
- Lichtwark, Glen A., and Alan M. Wilson. 2008. "Optimal Muscle Fascicle Length and Tendon Stiffness for Maximising Gastrocnemius Efficiency During Human Walking and Running." *Journal of Theoretical Biology* 252(4):662–73. doi:10.1016/j.jtbi.2008.01.018.
- van Linschoten, R., P. T. den Hoed, and A. C. de Jongh. 2007. "[Guideline 'Chronic Achilles tendinopathy, in particular tendinosis, in sportsmen/sportswomen']." *Nederlands tijdschrift voor geneeskunde* 151(42):2319–24.
- Liu, Xueli, Bin Zhu, Yujie Li, Xinyue Liu, Sheng Guo, Chenglong Wang, Sen Li, and Dingxuan Wang. 2021. "The Role of Vascular Endothelial Growth Factor

- in Tendon Healing.” *Frontiers in Physiology* 12.
doi:10.3389/fphys.2021.766080.
- Lu, Jingwei, Li Jiang, Yixuan Chen, Kexin Lyu, Bin Zhu, Yujie Li, Xueli Liu, Xinyue Liu, Longhai Long, Xiaoqiang Wang, Houping Xu, Dingxuan Wang, and Sen Li. 2022. “The Functions and Mechanisms of Basic Fibroblast Growth Factor in Tendon Repair.” *Frontiers in Physiology* 13.
doi:10.3389/fphys.2022.852795.
- Maffulli, Nicola. 1998. “Overuse Tendon Conditions: Time to Change a Confusing Terminology.” *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 14(8):840–43.
- Maffulli, Nicola, Stanley W. B. Ewen, Stuart W. Waterston, Jacqueline Reaper, and Victoria Barrass. 2000. “Tenocytes From Ruptured and Tendinopathic Achilles Tendons Produce Greater Quantities of Type III Collagen Than Tenocytes From Normal Achilles Tendons: An in Vitro Model of Human Tendon Healing.” *The American Journal of Sports Medicine* 28(4):499–505.
doi:10.1177/03635465000280040901.
- Maffulli, Nicola, Umile Giuseppe Longo, Anish Kadakia, and Filippo Spiezia. 2020. “Achilles Tendinopathy.” *Foot and Ankle Surgery* 26(3):240–49.
- Masci, Lorenzo, Hakan Alfredson, and Christoph Spang. 2019. “Plantaris Tendon and Association with Mid-Portion Achilles Tendinopathy. Is the Plantaris Tendon a Contributing Factor in Mid-Portion Achilles Tendinopathy?” *Apunts Medicina de l'Esport* 54(201):13–18.
doi:10.1016/j.apunts.2018.11.003.
- Mercer, Nathaniel P., Arianna L. Gianakos, Daniel J. Kaplan, John F. Dankert, Ajay C. Kanakamedala, Jeffrey S. Chen, Christopher A. Colasanti, Eoghan T. Hurley, James W. Stone, and John G. Kennedy. 2022. “Achilles Paratenon Needle Tendoscopy in the Office Setting.” *Arthroscopy Techniques* 11(3):e315–20. doi:10.1016/j.eats.2021.10.024.
- Milgrom, C., A. Finestone, D. Zin, D. Mandel, and V. Novack. 2003. “Cold Weather Training: A Risk Factor for Achilles Paratendinitis among Recruits.” *Foot & Ankle International* 24(5):398–401.
doi:10.1177/107110070302400504.
- Murphy, Myles C., Mervyn Travers, Paola Chivers, James Debenham, Sean I. Docking, Ebonie K. Rio, William Gibson, and Clare Ardern. 2023. “Can We Really Say Getting Stronger Makes Your Tendon Feel Better? No Current Evidence of a Relationship between Change in Achilles Tendinopathy Pain or Disability and Changes in Triceps Surae Structure or Function When Completing Rehabilitation: A Systematic Review.” *Journal of Science and Medicine in Sport* 26(4–5):253–60.
- Nishizaki, Tomoyuki. 2018. “PKCε Increases Extracellular Elastin and Fibulin-5/Dance in Dermal Fibroblasts.” *Cellular Physiology and Biochemistry* 46(1):291–302. doi:10.1159/000488430.
- Olewnik, Łukasz, Grzegorz Wysiadecki, Michał Polgaj, and Mirosław Topol. 2016. “Anatomic Study Suggests That the Morphology of the Plantaris Tendon May Be Related to Achilles Tendonitis.” *Surgical and Radiologic Anatomy* 39(1):69–75. doi:10.1007/s00276-016-1682-1.
- Omoto, Takenori, Dilimulati Yimiti, Yohei Sanada, Minoru Toriyama, Chenyang Ding, Yuta Hayashi, Yasunari Ikuta, Tomoyuki Nakasa, Masakazu Ishikawa, Masayuki Sano, Minjung Lee, Takayuki Akimoto, Chisa Shukunami, Shigeru Miyaki, and Nobuo Adachi. 2022. “Tendon-Specific Dicer Deficient Mice

- Exhibit Hypoplastic Tendon Through the Downregulation of Tendon-Related Genes and MicroRNAs.” *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 10. doi:10.3389/fcell.2022.898428.
- O’Neill, Seth, Simon Barry, and Paul Watson. 2019. “Plantarflexor Strength and Endurance Deficits Associated with Mid-Portion Achilles Tendinopathy: The Role of Soleus.” *Physical Therapy in Sport* 37:69–76. doi:10.1016/j.ptsp.2019.03.002.
- Paramita, Dewa Ayu Made Dhyana Pradnyan, and M. Widnyana. 2022. “Effectiveness of Physiotherapy Interventions on Achilles Tendinopathy.” 1(1):7–10. doi:10.62004/kpc.v1i1.2.
- Perugia, L., E. Ippolitio, and F. Postacchini. 1976. “A New Approach to the Pathology, Clinical Features and Treatment of Stress Tendinopathy of the Achilles Tendon.” *Italian Journal of Orthopaedics and Traumatology* 2(1):5–21.
- Raynal, E. 1883. “Cellulite Peritendineuse Du Tendon d’Achille.” *Arch Gen Med* 11:677–89.
- Ryan, Michael P., Stefan Grau, Inga Krauß, Christian Maiwald, Jack Taunton, and Thomas Horstmann. 2009. “Kinematic Analysis of Runners With Achilles Mid-Portion Tendinopathy.” *Foot & Ankle International* 30(12):1190–95. doi:10.3113/fai.2009.1190.
- Schanz, A. 1905. “Eine Typische Erkrankung Der Achillessehne.” *Zentralblatt Für Chirurgie* 32:1289–91.
- Shaw, H. M., Osorio T. Vázquez, D. McGonagle, G. Bydder, R. M. Santer, and M. Benjamin. 2008. “Development of the Human Achilles Tendon Enthesis Organ.” *Journal of Anatomy* 213(6):718–24. doi:10.1111/j.1469-7580.2008.00997.x.
- Shi, Guidong, Yicun Wang, Zhanwen Wang, Andrew R. Thoreson, Daniel S. Jacobson, Peter C. Amadio, Atta Behfar, Steven L. Moran, and Chunfeng Zhao. 2020. “A Novel Engineered Purified Exosome Product Patch for Tendon Healing: An Explant in an Ex Vivo Model.” *Journal of Orthopaedic Research®* 39(8):1825–37. doi:10.1002/jor.24859.
- Shi, Zhengzhou, Qi Wang, and Dapeng Jiang. 2019. “Extracellular Vesicles From Bone Marrow-Derived Multipotent Mesenchymal Stromal Cells Regulate Inflammation and Enhance Tendon Healing.” *Journal of Translational Medicine* 17(1). doi:10.1186/s12967-019-1960-x.
- Silbernagel, Karin Grävare, and Kay M. Crossley. 2015. “A Proposed Return-to-Sport Program for Patients with Midportion Achilles Tendinopathy: Rationale and Implementation.” *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 45(11):876–86. doi:10.2519/jospt.2015.5885.
- Silbernagel, Karin Grävare, Katarina Nilsson-Helander, Roland Thomeé, Bengt I. Eriksson, and Jón Karlsson. 2010. “A New Measurement of Heel-Rise Endurance with the Ability to Detect Functional Deficits in Patients with Achilles Tendon Rupture.” *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 18:258–64.
- Sobhani, S., R. Dekker, K. Postema, and P. U. Dijkstra. 2013. “Epidemiology of Ankle and Foot Overuse Injuries in Sports: A Systematic Review.” *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 23(6):669–86. doi:10.1111/j.1600-0838.2012.01509.x.
- Turgut, Nimet, Funda CENGİZ ÇALLIOĞLU, Aytül Bayraktar, Mehtap Savran, Halil Aşçı, Kanat Gülle, and Meriç Ünal. 2024. “FGF-2 Enriched Nanofiber

- Scaffold for Advancing Achilles Tendon Healing: A Comparative Experimental Investigation.” *Frontiers in Surgery* 11. doi:10.3389/fsurg.2024.1424734.
- Volesky, Krystof, Jan Novak, Michael Janek, Jakub Katolicky, James J. Tufano, Michal Steffl, Javier Courel-Ibáñez, and Tomas Vetrovsky. 2025. “Assessing the Test-Retest Reliability of MyotonPRO for Measuring Achilles Tendon Stiffness.” *Journal of Functional Morphology and Kinesiology* 10(1):83.
- De Vos, Robert Jan, Arco C. Van Der Vlist, Johannes Zwerver, Duncan Edward Meuffels, Frank Smithuis, Ronald Van Ingen, Florus Van Der Giesen, Edwin Visser, Astrid Balemans, Margreet Pols, Natasja Veen, Mirre Den Ouden, and Adam Weir. 2021. “Dutch Multidisciplinary Guideline on Achilles Tendinopathy.” *British Journal of Sports Medicine* 55(20):1125–34. doi:10.1136/bjsports-2020-103867.
- Wang, I-Jong, Fung-Rong Hu, Peh-Jer Chen, and Chin-Tarng Lin. 2000. “Mechanism of Abnormal Elastin Gene Expression in the Pinguecular Part of Pterygia.” *American Journal of Pathology* 157(4):1269–76. doi:10.1016/s0002-9440(10)64642-1.
- Wang, James H. C. 2006. “Mechanobiology of Tendon.” *Journal of Biomechanics* 39(9):1563–82.
- Wang, Yahai, Huanhuan Zhou, Zhibin Nie, and Sidong Cui. 2022. “Prevalence of Achilles Tendinopathy in Physical Exercise: A Systematic Review and Meta-Analysis.” *Sports Medicine and Health Science* (December 2021). doi:10.1016/j.smhs.2022.03.003.
- Watanabe, Y., H. Moriya, K. Takahashi, M. Yamagata, M. Sonoda, Y. Shimada, and T. Tamaki. 1993. “Functional Anatomy of the Posterolateral Structures of the Knee.” *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 9(1):57–62.
- Weidlich, Kolja, Falk Mersmann, Theresa Domroes, Arno Schroll, Sebastian Böhm, and Adamantios Arampatzis. 2023. “Quantification of Patellar Tendon Strain and Opportunities for Personalized Tendon Loading During Back Squats.” *Scientific Reports* 13(1). doi:10.1038/s41598-023-35441-9.
- Zou, G. Y. 2012. “Sample Size Formulas for Estimating Intraclass Correlation Coefficients with Precision and Assurance.” *Statistics in Medicine* 31(29):3972–81. doi:10.1002/sim.5466.

Seznam příloh

Příloha 1 – seznam obrázků

Obrázek 1 – str. 2:	Původ užívaného názvu pro „tendo calcaneus“ pramenící z Řecké mytologie.
Obrázek 2 – str. 3:	Anatomie „tendo calcaneus“ – Achillova šlacha.
Obrázek 3 – str. 8:	Cévní zásobení – Achillova šlacha.
Obrázek 4 – str. 11:	Křivka napětí a deformace šlachy.
Obrázek 5 – str. 13:	Zařízení MyotonPRO.
Obrázek 6 – str. 14:	Kinetika a kinematika chůze.
Obrázek 7 – str. 16:	Mikrostruktura šlachy.
Obrázek 8 – str. 19:	Tendinopatie inzerční/střední porce šlachy.
Obrázek 9 – str. 31:	Tendinopatie střední porce šlachy na ultrazvuku.
Obrázek 10 – str. 45:	Schéma měření – časové intervaly a změny v nastavení.
Obrázek 11 – str. 46:	Standardizované měření tuhosti Achillovy šlachy.
Obrázek 12 – str. 61:	Graf výsledků – studie reliability.
Obrázek 13 – str. 62:	Flowchart průběhu studie.
Obrázek 14 – str. 64:	Graf změn v procentech po 6 týdnech intervence – randomizovaná kontrolovaná studie.

Příloha 2 – seznam tabulek

Tabulka 1 – str. 59:	Shrnutí výsledků spolehlivostních analýz pro jednotlivé testovací podmínky.
Tabulka 2 – str. 63:	Vyhodnocení primárních výsledků – změna bolesti a funkce šlachy.
Tabulka 3 – str. 65:	Shrnutí sekundárních výsledků: HRT – výponový test, STIF – tuhost šlachy, CSA – příčný řez šlachou na ultrazvuku.

Příloha 3 – Studie reliability

Article

Assessing the Test-Retest Reliability of MyotonPRO for Measuring Achilles Tendon Stiffness

Krystof Volesky ¹, Jan Novak ¹, Michael Janek ¹, Jakub Katolicky ², James J. Tufano ¹, Michal Steffl ¹,
Javier Courel-Ibáñez ³ and Tomas Vetrovsky ^{1,*}

¹ Faculty of Physical Education and Sport, Charles University, 162 52 Prague, Czech Republic; kvolesk@gmail.com (K.V.)

² Department of Rehabilitation and Sports Medicine, Second Faculty of Medicine, University Hospital in Motol, Charles University, 150 06 Prague, Czech Republic

³ Department of Physical Education and Sport, Faculty of Sport Sciences, University of Granada, 520 71 Melilla, Spain

* Correspondence: tomas.vetrovsky@gmail.com

Abstract: **Objectives:** This study evaluates the test-retest reliability and inter-rater reliability of the MyotonPRO for measuring Achilles tendon stiffness at two standardized sites over various time frames and settings. **Methods:** Eight healthy participants underwent assessments by three raters over six visits. Tendon stiffness was measured at proximal (mid-portion) and distal (insertional) regions of the Achilles tendon at various time frames (10–15 s, 10–15 min, 24 h, and 14 days apart). Measurements included participant repositioning and two activity stimuli (daily living and sport). Reliability was calculated using the intraclass correlation coefficient (ICC), its 95% confidence interval, coefficient of variation, standard error of measurement, and minimal detectable change. **Results:** Short-term reliability (10–15 min) was excellent, with an ICC of 0.956 (0.929–0.974). Between days reliability (24 h) was good, with an ICC of 0.889 (0.802–0.938). Between weeks reliability (2 weeks) was good with an ICC of 0.886 (0.811–0.931). Short-term reliability with the simulation of activity of daily living was good, with an ICC of 0.917 (0.875–0.945). Short-term reliability with the simulation of sport was good with an ICC of 0.933 (0.891–0.96). Between days reliability with the simulation of sport was good, with an ICC of 0.920 (0.859–0.955). **Conclusions:** When used in a standardized position, the MyotonPRO demonstrates reliable repeated measurements of Achilles tendon stiffness. This protocol provides a foundation for clinical research and rehabilitation by clarifying expected reliability across minutes, days, and weeks, thus aiding clinicians and researchers in monitoring tendon adaptations and making evidence-based decisions.

Keywords: Achilles tendon; stiffness; reliability; MyotonPRO; tendon



Academic Editor: Pedro Miguel Forte

Received: 20 December 2024

Revised: 21 February 2025

Accepted: 26 February 2025

Published: 28 February 2025

Citation: Volesky, K.; Novak, J.; Janek, M.; Katolicky, J.; Tufano, J.J.; Steffl, M.; Courel-Ibáñez, J.; Vetrovsky, T. Assessing the Test-Retest Reliability of MyotonPRO for Measuring Achilles Tendon Stiffness. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* **2025**, *10*, 83. <https://doi.org/10.3390/jfmk10010083>

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The Achilles tendon transmits force and absorbs energy during activities such as walking, running, and jumping [1] and is subject to extremely high mechanical loads, often up to ten times the body weight [2]. In athletes, excessive mechanical loading can lead to Achilles tendinopathy, a condition characterized by tendon pain and loss of function [3]. Its prevalence among athletes stands at 6%, affecting both men and women equally [4]. Although Achilles tendinopathy can be an acute injury, it often evolves into a chronic condition that can impair quality of life and work productivity [5]. A significant number of affected individuals experience persistent symptoms for years, resulting in reduced physical activity levels [6].

Příloha 4 – Abstrakt, Konference Norsko

Konference: Fifth World Congress of Sport Physiotherapy, 14-15 June 2024 Oslo, Norway

Title: The Significant Effect on Clinical Condition, Strength Endurance and Stiffness of the Achilles Tendon for Both Alfredson and Silbernagel Protocols in Competitive Athletes with Achilles Tendinopathy

Volesky K., Katolicky J., Novak J., Janek M., Tufano J.J., Courel- Ibáñez J., Vetrovsky T.

Introduction: Treatment protocols for Achilles tendinopathy, such as the Alfredson and Silbernagel, have shown beneficial effects on the clinical condition of patients. However, they have never been directly compared in competitive athletes.

Objectives: To compare the effectiveness of both the Alfredson and Silbernagel protocols in competitive athletes. A secondary objective was to explore biomechanical or structural changes in the Achilles tendon (AT) and impact on strength endurance of the plantar flexors.

Study design: Randomized controlled trial.

Methods: A total of 20 competitive athletes with Achilles tendinopathy diagnosed through a combination of questionnaire, ultrasound and clinical assessment were randomly assigned to the Alfredson isolated eccentric loading (AG) or Silbernagel concentric-eccentric loading (SG) group using permuted block randomization stratified by age. Both groups followed the respective protocol for six weeks. The primary outcome was the difference in the clinical condition assessed by the Victorian Institute of Sports Assessment-Achilles (VISA-A) instrument after 6 weeks. Secondary outcomes were plantar flexors strength endurance assessed by heel-rise test (HRT), stiffness of AT assessed by MyotonPRO device (STIF) and cross-section area of AT assessed by ultrasound (CSA). Between-group comparison was performed using an unpaired t-test, and the impact of training was evaluated using a paired t-test.

Results: No significant between-group differences were found for the primary and secondary outcomes. When analyzing both groups combined, there was a significant improvement in:

VISA-A score (from 60.3 ± 17.5 to 77 ± 13.2 , $p < 0.001$),

HRT (from 26 ± 3.72 to 31.8 ± 4.65 reps, $p < 0.001$),

STIF (from 869 ± 149 to 942 ± 155 N/m, $p = 0.006$), of the tendinopathy leg

and there was no significant improvement in CSA of the tendinopathy leg.

Conclusions: No differences were found between AG and SG. Both protocols significantly improved clinical condition (VISA-A), plantar flexor strength endurance (HRT), and stiffness (STIF) of the AT with diagnosed tendinopathy.

Registration: NCT05659134 (ClinicalTrials.gov)

Keywords: Achilles tendinopathy, treatments, VISA-A, HRT, stiffness

References:

1. Scott A, Squier K, Alfredson H, Bahr R, Cook JL, Coombes B, et al. ICON 2019: International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus: Clinical Terminology. *Br J Sports Med*. 2020;54(5):260–2
2. Habets B, van Cingel REH, Backx FJG, van Elten HJ, Zuithoff P, Huisstede BMA. No Difference in Clinical Effects When Comparing Alfredson Eccentric and Silbernagel Combined Concentric-Eccentric Loading in Achilles Tendinopathy: A Randomized Controlled Trial. *Orthop J Sport Med* [Internet]. 2021;9(10):1–10
3. Grävare Silbernagel K, Malliaras P, de Vos RJ, Hanlon S, Molenaar M, Alfredson H, et al. ICON 2020—International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus: A Systematic Review of Outcome Measures Reported in Clinical Trials of Achilles Tendinopathy. *Sport Med* [Internet]. 2022;52(3):613–41.

Příloha 5 – VISA-A dotazník

LOKALIZACE VISA-A DOTAZNÍKU DO ČESKÉHO JAZYKA

1. Kolik minut pociťujete ztuhlost v oblasti Achillovy šlachy, poté co ráno vstanete?
(0 - 100 min.)
2. Cítíte bolest po 30minutové chůzi po rovném povrchu v průběhu dalších 2 hodin? (Pokud kvůli bolesti nezvládnete chodit po rovném povrchu po dobu 30 minut, zaznačte u této otázky 0 bodů).
(0 silná/prudká bolest - 10 bez bolesti)
3. Pociťujete bolest AŠ po 30 min chůze v následujících 2 hodinách?
(Pokud neujdete 30 minut kvůli bolesti označte 0; 0 silná/prudká bolest - 10 bez bolesti)
4. Cítíte bolest při běžné chůzi dolu ze schodů? (normální střídavá chůze)
(0 silná/prudká bolest - 10 bez bolesti)
5. Cítíte bolest během nebo bezprostředně po provedení 10 výponů na jedné noze (postižené), na rovném povrchu?
(0 silná/prudká bolest - 10 bez bolesti)
6. Kolikrát dokážete poskočit na jedné noze, aniž byste pocítili bolest?
(0-10 poskoků)
7. Věnujete se v současné době sportu nebo jiné pohybové aktivitě?
 - a) Vůbec ne
 - b) Modifikovaný trénink ± modifikované soutěžení
 - c) Kompletní trénink ± soutěžení, ale nikoli na stejné úrovni jako v době před výskytem příznaků
 - d) Soutěžení na stejné nebo vyšší úrovni než v době před výskytem příznaků

8. U této otázky odpovězte **BUĎ NA MOŽNOST A, B, nebo C.**

A) Pokud **při sportu, při kterém namáháte Achillovu šlachu,**
necítíte žádnou bolest, odpovězte pouze na **otázku 8A.**

B) Pokud **při sportu, při kterém namáháte**
Achillovu šlachu, cítíte bolest, která vám
však nebrání danou aktivitu dokončit,
odpovězte pouze na **otázku 8B.**

C) Pokud **při sportu, při kterém namáháte**
Achillovu šlachu, cítíte bolest, která vám brání
danou aktivitu dokončit, odpovězte pouze na
otázku 8C.

8A) Pokud při **sportování se zatížením Achillovy šlachy** necítíte žádnou bolest,
po jak dlouhou dobu zvládnete trénovat/cvičit?

- a) 1-10min.
- b) 11-20min.
- c) 21-30min.
- d) více než 30min.

8B) Pokud při **sportování se zatížením Achillovy šlachy** cítíte určitou bolest,
která Vám však nebrání tento trénink/aktivitu dokončit, po jak dlouhou dobu
zvládnete trénovat/cvičit?

- a) 1-10min.
- b) 11-20min.
- c) 21-30min.
- d) více než 30min.

8C) Pokud **při sportování se zatížením Achillovy šlachy** cítíte bolest, která Vám neumožňuje dokončit trénink/aktivitu, po jak dlouho dobu zvládnete trénovat/cvičit?

- a) 1-10min.
- b) 11-20min.
- c) 21-30min.
- d) více než 30min.

ORIGINÁLNÍ VERZE V ANGLICKÉM JAZYCE

The VISA-A questionnaire: An index of the severity of Achilles tendinopathy

IN THIS QUESTIONNAIRE, THE TERM PAIN REFERS SPECIFICALLY TO PAIN IN THE ACHILLES
TENDON REGION

1. For how many minutes do you have stiffness in the Achilles region on first getting up?

100 mins

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

 0 mins

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

POINTS

2. Once you are warmed up for the day, do you have pain when stretching the Achilles tendon fully over the edge of a step? (keeping knee straight)

strong severe pain

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

 no pain

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

POINTS

3. After walking on flat ground for 30 minutes, do you have pain within the next 2 hours?

(If unable to walk on flat ground for 30 minutes because of pain, score 0 for this question).

strong severe pain

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

 no pain

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

POINTS

4. Do you have pain walking downstairs with a normal gait cycle?

strong severe pain											no pain	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

POINTS

5. Do you have pain during or immediately after doing 10 (single leg) heel raises from a flat surface?

strong severe pain											no pain	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

POINTS

6. How many single leg hops can you do without pain?

0											10	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

POINTS

7. Are you currently undertaking sport or other physical activity?

- 0 ☐ Not at all
- 4 ☐ Modified training ± modified competition
- 7 ☐ Full training ± competition but not at same level as when symptoms began
- 10 ☐ Competing at the same or higher level as when symptoms began

POINTS

8. Please complete **EITHER A, B or C** in this question.

- If you have **no pain while undertaking Achilles tendon loading sports** please complete **Q8a only**.
- If you have **pain while undertaking Achilles tendon loading sports but it does not stop you from completing the activity**, please complete **Q8b only**.
- If you have **pain that stops you from completing Achilles tendon loading sports**, please complete **Q8c only**.

A. If you have **no pain** while undertaking **Achilles tendon loading sports**, for how long can you train/practise?

NIL	1-10 mins	11-20 mins	21-30mins	>30 mins	POINTS
☐	☐	☐	☐	☐	☐
0	7	14	21	30	

OR

B. If you have some pain while undertaking **Achilles tendon loading sport**, but it does not stop you from completing your training/practice for how long can you train/practise?

NIL	1-10 mins	11-20 mins	21-30mins	>30 mins	POINTS
☐	☐	☐	☐	☐	☐
0	4	10	14	20	

OR

C. If you have **pain that stops you** from completing your training/practice in **Achilles tendon loading sport**, for how long can you train/practise?

NIL	1-10 mins	11-20 mins	21-30mins	>30 mins	POINTS
☐	☐	☐	☐	☐	☐
0	2	5	7	10	

TOTAL SCORE (		/100)		%
----------------------	----------------------	--------------	----------------------	----------

Příloha 6 – Zařízení MyotonPRO



Příloha 7 – Nastavitelný stojan MyotonPRO



Příloha 8 – Protokol sportovních aktivit

Type of contraction	Reps	Sets	Range of motion (°)	Angular velocity (°/s)	Time under tension for one set (s)	Total time under tension (s)	Pause between sets (s)	Total pause (s)
isometric	1	12	0	0	15	180	30	330
eccentric	5	12	45	15	15	180	30	330
concentric/eccentric	10	12	45	60	15	180	30	330

Příloha 9 – Analýza systematické bias

Bland-Altman

Immediate SM – 1. and 2.

Bland-Altman Statistics

=====

t = -3.8831, df = 479, p-value = 0.0001176

alternative hypothesis: true bias is not equal to 0

=====

Number of comparisons: 480

Maximum value for average measures: 1400

Minimum value for average measures: 592

Maximum value for difference in measures: 238

Minimum value for difference in measures: -284

Bias: -5.427083

Standard deviation of bias: 30.61988

Standard error of bias: 1.3976

Standard error for limits of agreement: 2.390157

Bias: -5.427083

Bias- upper 95% CI: -2.680899

Bias- lower 95% CI: -8.173268

Upper limit of agreement: 54.58788

Upper LOA- upper 95% CI: 59.28437

Upper LOA- lower 95% CI: 49.8914

Lower limit of agreement: -65.44205

Lower LOA- upper 95% CI: -60.74556

Lower LOA- lower 95% CI: -70.13854

=====

Derived measures:

Mean of differences/means: -0.6195373

Point estimate of bias as proportion of lowest average: -0.916737

Point estimate of bias as proportion of highest average -0.3876488

Spread of data between lower and upper LoAs: 120.0299

Bias as proportion of LoA spread: -4.521442

=====

Bias:

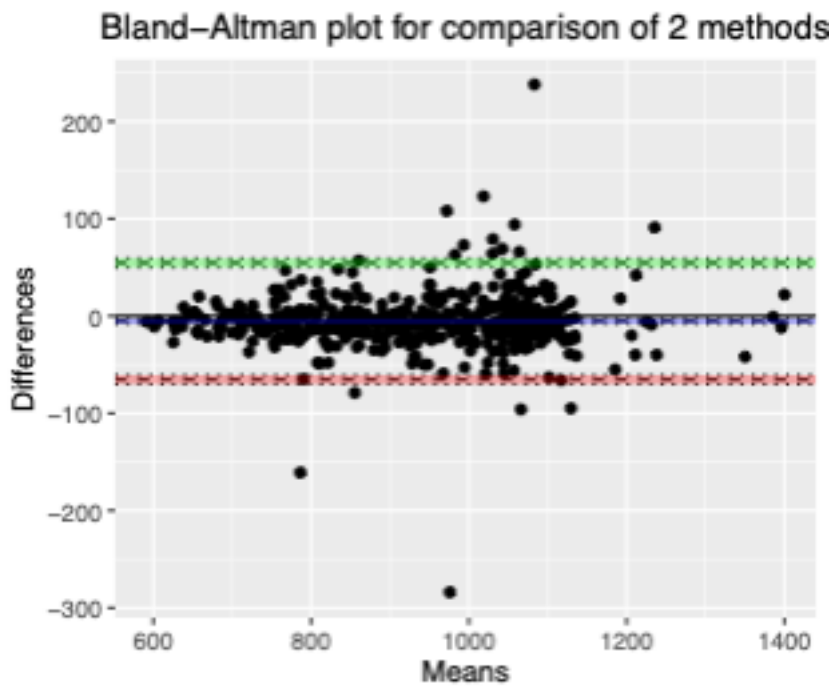
-5.427083 (-8.173268 to -2.680899)

ULoA:

54.58788 (49.8914 to 59.28437)

LLoA:

-65.44205 (-70.13854 to -60.74556)



Immediate SM – 2. and 3.

Bland-Altman Statistics

=====

t = -4.1725, df = 479, p-value = 3.579e-05

alternative hypothesis: true bias is not equal to 0

=====

Number of comparisons: 480

Maximum value for average measures: 1403

Minimum value for average measures: 603

Maximum value for difference in measures: 205

Minimum value for difference in measures: -181

Bias: -6.091667

Standard deviation of bias: 31.9863

Standard error of bias: 1.459968

Standard error for limits of agreement: 2.496818

Bias: -6.091667

Bias- upper 95% CI: -3.222933

Bias- lower 95% CI: -8.9604

Upper limit of agreement: 56.60147

Upper LOA- upper 95% CI: 61.50754

Upper LOA- lower 95% CI: 51.6954

Lower limit of agreement: -68.78481

Lower LOA- upper 95% CI: -63.87874

Lower LOA- lower 95% CI: -73.69088

=====

Derived measures:

Mean of differences/means: -0.6265751

Point estimate of bias as proportion of lowest average: -1.010227

Point estimate of bias as proportion of highest average -0.4341886

Spread of data between lower and upper LoAs: 125.3863

Bias as proportion of LoA spread: -4.85832

=====

Bias:

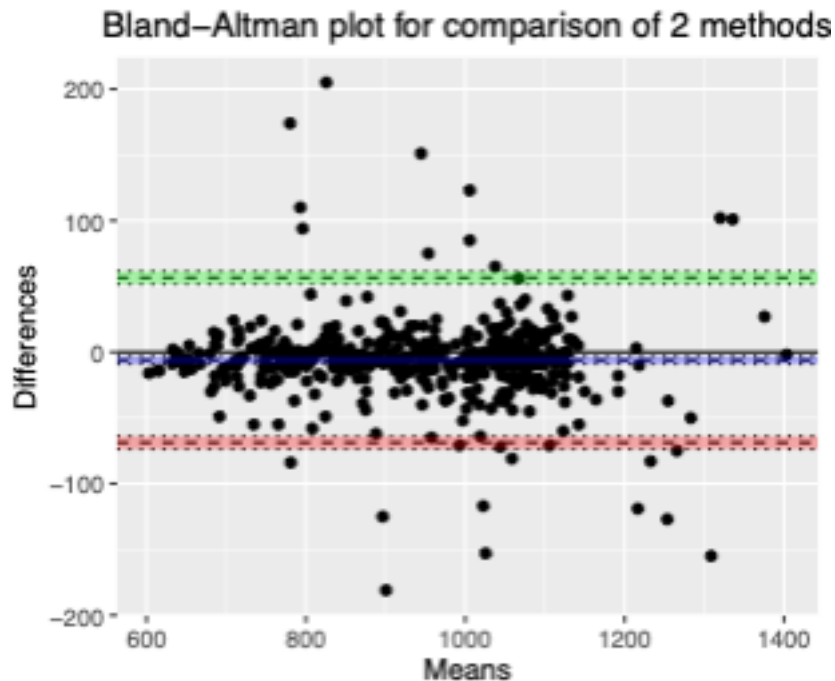
-6.091667 (-8.9604 to -3.222933)

ULoA:

56.60147 (51.6954 to 61.50754)

LLoA:

-68.78481 (-73.69088 to -63.87874)



Immediate SM – 1. and 3.

Bland-Altman Statistics

=====

t = -6.6569, df = 479, p-value = 7.678e-11

alternative hypothesis: true bias is not equal to 0

=====

Number of comparisons: 480

Maximum value for average measures: 1397

Minimum value for average measures: 600

Maximum value for difference in measures: 187

Minimum value for difference in measures: -302

Bias: -11.51875

Standard deviation of bias: 37.91028

Standard error of bias: 1.73036

Standard error for limits of agreement: 2.959239

Bias: -11.51875

Bias- upper 95% CI: -8.118716

Bias- lower 95% CI: -14.91878

Upper limit of agreement: 62.78541

Upper LOA- upper 95% CI: 68.6001

Upper LOA- lower 95% CI: 56.97071

Lower limit of agreement: -85.82291

Lower LOA- upper 95% CI: -80.00821

Lower LOA- lower 95% CI: -91.6376

=====

Derived measures:

Mean of differences/means: -1.245603

Point estimate of bias as proportion of lowest average: -1.919792

Point estimate of bias as proportion of highest average -0.8245347

Spread of data between lower and upper LoAs: 148.6083

Bias as proportion of LoA spread: -7.751081

=====

Bias:

-11.51875 (-14.91878 to -8.118716)

ULoA:

62.78541 (56.97071 to 68.6001)

LLoA:

-85.82291 (-91.6376 to -80.00821)

