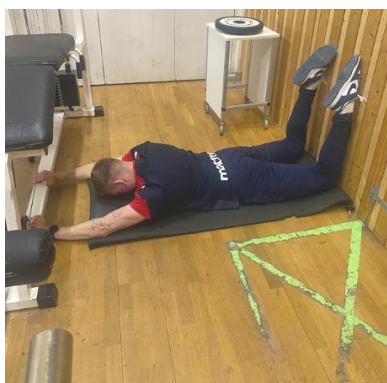




Studerende:

Eik Hansen Hjerde – Aalborg Universitet

Studie Nr. 20205645

ehjerd20@student.aau.dk

Jeppe Garde Sørensen – Aalborg Universitet

Studie Nr. 20205819

jgsa20@student.aau.dk

Projektperiode:

01/02 – 02/06-2025

Uddannelse:

AAU Idræt, Kandidat

Vejleder:

Ryan Godsk Larsen

Sidetæl:

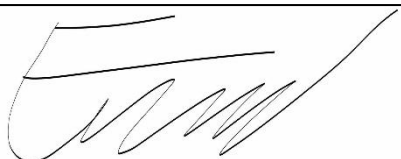
57

Antal ord:

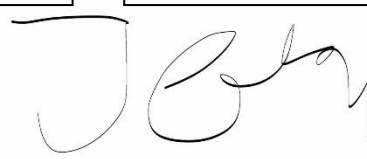
12091

Bilagsantal:

23



Eik Hansen Hjerde



Jeppe Garde Sørensen

Abstract

Dynamic strength training (DST) and plyometric exercises are among the most commonly employed methods by Strength & Conditioning Coaches. However, recent research has demonstrated that isometric strength training (IST) may elicit similar physiological adaptations to those observed with these traditional training modalities. Furthermore, isometric exercises have been shown to elicit lower energy demands. Therefore, this study aimed to examine the differences in IST and DST on Isometric Mid-Thigh Pull (IMTP), Countermovement jump (CMJ) and a muscle soreness scale. This study included 19 boys aged 14.8 ± 0.3 , height 169.5 ± 7.3 and a weight of 55.8 ± 8.1 . They were divided into two groups with different training programs, one focusing on IST and one focusing on DST and plyometric training. Participants were randomly assigned to two groups using stratification based on peak height velocity (PHV) in order to ensure group homogeneity. The participants were tested at Pretest, after four weeks, and again followed by a Posttest after eight weeks of training. Both groups demonstrated improvements in peak force (PF) and CMJ performance. However, no significant improvements were observed in rate of force development (RFD) at 50 ms, 100 ms, or 200 ms. Furthermore, no significant between-group interactions were identified for any of the measured parameters. Based on the muscle soreness scale, no differences were found across time points, and no between-group differences were observed. The findings of this study may contribute to the practical implementation of strength training programs aimed at improving maximal strength within a high-load elite football context.

Forord

Denne rapport er udført som et 30 ECTS Specialet ved institut for medicin og sundhedsteknologi. Den blev udarbejdet i perioden februar til juni 2025. Træningsinterventionen samt tests blev udført på AaB's Akademi.

Specialet blev er udarbejdet i forbindelse med specialeopgaven af kandidaten i idræt på Aalborg Universitet i perioden februar til juni 2025.

Undervejs i processen har vi opnået en større forståelse for kompleksiteten af at gennemføre et praksisorienteret interventionsstudie samt vigtigheden af at forberede en gennemarbejdet forsøgsprotokol i form af træninger og tests har været et essentielt aspekt. Ydermere har især dataindsamling og strukturen af denne været udfordrende. Af denne årsag blev det valgt at vedhæfte de statistiske tests, som er udarbejdet i SPSS i bilag, for at give læseren et dybere indblik i det statistiske arbejde.

Vi vil gerne rette en tak for samarbejdet til AaB, og de deltagende spillere fra akademiets U15-hold, samt for deres engagement og tid under interventionsperioden. Ydermere skal en tak rettes til AaB's *Head of Academy Strength & Conditioning* for faglig sparring, samt støtte i forhold til hjælp med udførelse af tests og planlægning af træninger. Slutteligt skal en stor tak lyde til vores vejleder, Ryan Godsk Larsen for et godt samarbejde, samt for god konstruktiv sparring, interesse og faglig støtte gennem hele processen.

Indholdsfortegnelse

1. Introduktion	1
2. Teori.....	4
2.1 Isometrisk træning	4
2.1.1 Type af IST.....	5
2.1.2 Adaptationer ved IST	5
2.1.3 Sportsspecifik overførbarehed	6
2.1.4 Belastningen af IST	7
2.2 PHV	8
3. Metode	10
3.1 Forsøgsdesign	10
3.1.1 Interventionsperiode	10
3.1.2 Forsøgsdeltagere	12
3.1.3 Inklusion- og eksklusionskriterier.....	12
3.2 Interventionsprotokol	13
3.2.1 Pilotforsøg.....	13
3.2.2 Træningsintervention	13
3.2.3 Øvelsesvalg for IST-gruppen.....	15
3.2.4 Øvelsesvalg for DST-gruppen	18
3.3 Ømhed	21
3.4 PACES	22
3.5 Tests og målemetoder.....	23
3.5.1 Validitet og reliabilitet af testudstyr.....	23
3.5.2 Forberedelse og standardisering af testning.....	25
3.6 Statistisk analyse	27
3.6.1 Primær analyse.....	27
3.6.2 Sekundære analyse	28
4. Resultatafsnit	29
4.1 PF - IMTP	29
4.3 CMJ.....	33
4.5 Rate of force developement (RFD)	35
4.5.1 RFD 200ms - IMTP	35
4.5.2 RFD 100ms - IMPT	37
4.5.3 RFD 50ms - IMTP.....	39

4.6 Skala for ømhed	41
5. Diskussion	42
5.1 Primære resultater.....	42
5.1.1 Main effect af tid (IMTP)	42
5.1.2 Interaktion mellem grupperne (IMTP).....	43
5.1.3 Main effect af tid (CMJ).....	44
5.1.4 Interaktion mellem grupperne (CMJ)	45
5.2 Sekundære resultater	48
5.2.1 Ømhed	48
5.3 Styrker & Begrænsninger	50
5.3.1 RFD.....	50
5.3.2 Metodiske overvejelser omkring måling af ømhed.....	51
5.3.3 Adaptationer fra intervention eller fodboldtræning?	52
5.3.4 Praktiske rammer	53
5.3.5 Arbejdsintensitet	54
6. Perspektivering.....	55
6.1 Praktisk anvendelighed.....	55
6.1.1 Anbefalinger til ømhed.....	55
6.1.2 Anbefalinger til PACES.....	55
6.1.3 Anbefalinger til træningsplanlægning.....	56
7. Konklusion	57

1. Introduktion

Fodbold har de seneste år gennemgået en markant udvikling. Det handler ikke længere udelukkende om spillets tekniske og taktiske aspekter, men i stigende grad også om spillernes fysiske præstation (Bangsbo, 2014). Et studie af Barnes et al. (2014) beskriver den betydelige stigning af de fysiske krav i moderne fodbold.

Over en periode på syv sæsoner er kampbelastningen i den bedste engelske række steget markant: højintens distance med ~30%, sprintdistance på ~35% og antal sprints på ~85% (Barnes et al., 2014). Der er en generel konsensus om, at hastigheden, intensiteten og aggressiviteten i fodbold har udviklet sig i en mere krævende retning end nogensinde før (Lago-Peñas et al., 2023).

På trods af, at sprint kun udgør 1-11% af spillernes akkumulerede distance i en kamp (Stølen et al., 2005), betragtes det som en nøgelfaktor, da studier viser, at sprint er den hyppigste bevægelse umiddelbart inden en scoring (Haugen et al., 2014). Derfor er det essentielt at kombinere den almene fodboldtræning med sportsspecifikt styrketræning, for at optimere præstationen i disse afgørende situationer (Bimson et al., 2017).

I nyere tid er fysiske trænere blevet en langt større del af en allerede tværfaglig trænerstab, da fysisk træning og styrketræning er blevet en anerkendt professionel praksis i fodbold (Turner & Steward, 2014). Inden for styrketræning i fodbold kan en fysisk træner vælge forskellige tilgange afhængigt af, hvilke færdigheder som ønskes optimeret hos den enkelte spiller. Hvis målet er at øge maksimal styrke og peak power, favoriserer litteraturen primært tung styrketræning med få antal gentagelser og høj intensitet (Turner & Steward, 2014).

En anden udbredt form for styrketræning i fodbold er plyometrisk træning, hvor der arbejdes med stretch shortening-cycle og rate of force development. Dette sker gennem øvelser, der starter i en hurtig excentrisk bevægelse efterfulgt af en eksplosiv koncentrisk bevægelse af samme muskel i underekstremiteterne (Sáez-Sáez de Villarreal et al., 2010). Valget af øvelser kan have fokus på gentagne maksimale hop med minimal kontakttid mellem hvert hop (Turner & Steward, 2014). Dette understreger, at styrketræning i fodbold ofte kan kategoriseres som dynamisk styrketræning (DST). Forskning viser, at dynamisk styrke har høj overførbarehed til sportsspecifikke bevægelser (Suchomel et al., 2018). Dog peger nyere litteratur på, at inkorporering af isometrisk styrketræning

(IST) bør overvejes ved udformningen af styrketræningsprogrammer til atleter (Lum & Barbosa, 2019).

IST er en form for styrketræning, hvor muskulaturen kontraheres uden ekstern bevægelse, hvilket adskiller sig fra DST, hvor der sker dynamiske muskelkontraktioner, hvorfor IST kategoriseres ved statiske øvelser (Lum & Barbosa, 2019).

Litteraturen peger i retning af, at IST kan anvendes i flere facetter af styrketræning. Den har blandt andet vist sig positiv i rehabilitering efter skader eller operationer, hvor bevægeudslaget kan være begrænset (Yang et al., 2024). Desuden kan IST bidrage til at styrke knæledet i specifikke positioner, der ellers har svært ved at generere store kræfter. Studier viser endvidere, at de opnåede tilpasninger kan overføres til vinkler mellem 20°-50° fra den trænede position (Oranchuk et al., 2019; Ullrich & Brüggemann, 2009; Kubo et al., 2006).

Desuden, tyder litteraturen på, at IST kan forbedre dynamisk styrke, hoppepræstation, løb, cykling og fodboldrelevante færdigheder (Lum & Barbosa, 2019; Lum et al., 2022; McGuigan et al., 2010; Bimsom et al., 2017). Dette understreger studiet af Lum et al. (2022), som beskriver overførbareheden fra IST og plyometrisk træning til præstationsparametre i løb. Studiet kunne konkludere, at seks uger med to træninger/uge resulterede i en signifikant forøgelse af parametre som maksimal hastighed, Countermovement Jump (CMJ) og Isometric Mid-Thigh Pull (IMTP) for begge grupper (Lum et al., 2022).

Et andet studie undersøgte IST i forbindelse med fodboldrelevante færdigheder hos kvindelige amatørspillere. Studiet viste, at en træningsintervention på seks uger med IST resulterede i en signifikant forbedring i den maksimale sparkedistance samt CMJ (Bimsom et al., 2017).

Samtidig har isometriske øvelser et lavere energikrav end dynamiske øvelser grundet manglende bevægeudslag, hvilket betyder, at IST potentielt kan føre til mindre muskulær ømhed og udmattelse efter træning (Zondi et al., 2015).

Anvendelsen af IST kan være relevant for atleter og i særdeleshed, hvor styrketræning er af sekundær betydning, som netop fodbold. IST kan bidrage til muskulære adaptationer, forebygge skader ved at optimere styrke i svage ledvinkler samt forbedre sportsspecifikke bevægelser

(Oranchuk et al., 2019; Stefanska, 2025). Alt sammen med minimal muskulær udtrætning og ømhed (Zondi et al., 2015; Lum & Barbosa, 2019; Pippas et al., 2024).

På trods af den omfattende litteratur om IST er det stadig tvetydigt, hvorvidt denne træningsform resulterer i samme sportsspecifikke adaptationer, som den typiske styrketræning – DST – hos unge elitefodboldspillere. Yderligere er det relevant at undersøge om IST kan reducere udmattelsen og ømheden hos fodboldspillere (Zondi et al., 2015; Lum & Barbosa, 2019; Pippas et al., 2024).

Derfor søger nærværende studie at belyse emnet ved at implementere IST hos unge elitefodboldspillere og undersøge dets effekt over en otte ugers interventionsperiode.

På baggrund af ovenstående lyder problemformuleringen:

Hvordan påvirker isometrisk (IST) versus dynamisk styrketræning (DST) præstationsparametrene fra Isometric Mid-Thigh Pull (IMTP) og Countermovement Jump (CMJ) og den oplevede muskelømhed i løbet af otte uger hos U15 elitefodboldspillere?

2. Teori

2.1 Isometrisk træning

IST består af øvelser, hvor den trænede muskel kontraheres statisk, hvilket vil sige, at både muskellængden og ledvinklen vil forblive uændret ved isometriske øvelser (Gellman, 2020).

Afhængig af modstanden på musklen under isometriske øvelser, kan disse både forekomme som maksimale eller submaksimale (Gellman, 2020). Et review af Lum & Barbosa (2019) beskriver, at hypertrofi påvirkes af varigheden på den isometriske øvelse. Dette underbygges ved et studie som undersøgte dette på en 14-ugers træningsintervention bestående af tre ugentlige træningspas (Schott et al., 1995). Syv forsøgspersoner trænede det højre ben med korte muskelkontraktioner (3 sekunder, 10 sæt af 4 gentagelser), mens det venstre ben blev udsat for længerevarende kontraktioner (30 sekunder, 4 gentagelser). Begge ben blev trænet med 70% muskulær voluntær kontraktion og ens volumen. Resultaterne viste, at benet, der blev trænet med de lange kontraktioner, udviste en større grad af muskelhypertrofi sammenlignet med benet, der trænede med korte kontraktioner (Schott et al., 1995).

Desuden beskriver reviewet, at der bør trænes med intervaller af 1-5 sekunder pr. gentagelse, med 30-90 sekunder pr. session for at opnå de bedst mulige resultater for maksimal styrke (Lum & Barbosa, 2019). Dette understøttes af et studie, der undersøgte forskellen mellem kontraktionstider på henholdsvis 4 sekunder og 1 sekund. Resultaterne viste, at en kontraktionstid på 4 sekunder førte til en større stigning i maksimal styrke sammenlignet med den kortere kontraktionstid (Tillin & Folland, 2014). Et andet studie sammenlignede effekten af kontraktionstider på hhv. 1 sekund og 20 sekunder. Begge grupper opnåede en øget maksimal styrke, men resultaterne viste, at den kortere kontraktionstid medførte den største styrkefremgang (Kubo et al., 2001).

Litteraturen beskriver derved, at IST er en træningsform, som både forøger hypertrofi og maksimal styrke. Længerevarende gentagelser fremmer bedst hypertrofi, hvorimod kortere gentagelser i højere grad påvirker den maksimale styrke.

2.1.1 Type af IST

IST kan ifølge et studie af Oranchuk et al. (2019) deles op i to forskellige former for øvelser: "holde" eller "skubbe" (Oranchuk et al., 2019).

En isometrisk "holde" øvelse refererer til at udøveren skal holde en statisk position, samtidig med at han eller hun bliver påvirket af en ekstern kraft. En submaksimal holde-øvelse kan eksemplificeres ved planke, hvor udøveren understøtter sin kropsvægt ved at placere albuerne og tæerne i underlaget. Her opretholdes en muskelaktivering i ben og core, for at bevare en neutral linje gennem kroppen. Denne øvelse udføres typisk i et forudbestemt tidsinterval, ofte målt i sekunder eller minutter, og involverer som regel ikke udøverens maksimale kraftudvikling (Oranchuk et al., 2019).

En isometrisk "skubbe"-øvelse refererer til at udøveren skal forsøge at bevæge et fastspændt eller på anden vis låst objekt. Dette kan eksemplificeres ved IMTP, som er en øvelse hvor maksimal styrke bliver benyttet. Øvelsen kan oftest blive anvendt som styrketests (Comfort et al., 2019). I denne øvelse indtager udøveren en næsten oprejst position med en fastlåst stang i hænderne og forsøger at generere maksimal kraft i et statisk løft (Se billede 8) (Comfort et al., 2019).

2.1.2 Adaptationer ved IST

Ved IST kan der forekomme en forøgelse af den maksimale kraft ved de omkringliggende ledvinkler (Noorköiv et al., 2014). Denne forøgelse kan forekomme fra både neurale og muskulære adaptationer (Noorköiv et al., 2014). De neuromuskulære adaptationer fra IST vil primært bestå af en forøgelse af aktiveringen i agonisten og en reducere i aktiviteten af antagonisten (Carolan & Caferelli, 1992). Dette blev vist i et studie af Carolan & Caferelli (1992), da deres forsøgspersoner udførte 30 unilaterale isometriske knæekstensioner tre gange/uge i otte uger. Interventionen forøgede den maksimale kraft med 32,8% i det trænede ben, hvor antagonistens arbejde blev reduceret med omkring 20% (Carolan & Caferelli, 1992). Ud fra dette fund, kunne de konkludere, at adaptationerne ved IST kan forekomme neuromuskulært (Carolan & Caferelli, 1992).

De morfologiske adaptationer vil primært bestå af hypertrofi, som er en forlængelse af fascikler i den trænede muskel og dertil en forøgelse af sarcomere (Noorköiv et al., 2014).

Et review af Oranchuk et al. (2019) gennemgår IST og de dertilhørende adaptationer fra blandt andet træningsintensitet, volumen og ledvinkler. Studiet kan fortælle, at der ved større ledvinkler

(>70°) er mulighed for et kraftigere mekanisk stress og dermed bedre mulighed for at opnå hypertrofi (Oranchuk et al., 2019). Studiet af Noorkõiv et al. (2014) kan bruges til at understøtte dette udsagn, hvor studiet undersøgte adaptationer ved kort- og lang ledvinkel på 16 mænd over en periode af seks uger (Noorkõiv et al., 2014). Studiets resultater viste, at muskelvolumen og muskeltværnitsarealet var forøget ved gruppen, som havde gennemført træning med større ledvinkler (Noorkõiv et al., 2014).

Yderligere viser studier, at IST ved større ledvinkler giver forbedringer i omkringliggende vinkler, hvorimod træning ved korte ledvinkler primært forbedre den specifikke vinkel (Kubo et al., 2006; Noorkõiv et al., 2014; Lum & Barbosa et al., 2019).

2.1.3 Sportsspecifik overførbarhed

Rate of force development (RFD) samt et individs maksimale styrke er nogle af de væsentligste egenskaber at besidde for præstationsevnen hos eliteatleter (Markovic, 2007). Litteratur støtter op om, at stærkere atleter har bedre forudsætninger i sportsfærdigheder som hop, sprint, retningsskift samtidig med en reducere af skader (Suchomel et al., 2016). En årsag til dette udsagn er, at øget muskulær styrke har en stærk overførbarhed til forøget RFD og dermed en indvirkning på de førnævnte sportslige færdigheder (Suchomel et al., 2016).

Et studie af Bimson et al. (2017) undersøgte overførbarheden fra en seks-ugers intervention bestående af IST på fodboldspillere og deres sportsspecifikke færdigheder. Studiet kunne rapportere en signifikant interaktion mellem de to grupper i sportsspecifikke færdigheder som CMJ (IST = 2,24% vs CON, -0,78%) og sparkedistance (IST = 8,8%, CON = -2,5%) (Bimson et al., 2017). Dette fund indikerer, at der er mulighed for en sportsspecifik overførbarhed fra IST til fodbold (Bimson et al., 2017).

Et andet studie fra Wang et al. (2016) beskriver yderligere, at der er en korrelation mellem IMTP og sportsspecifikke bevægelser, såsom sprinthastighed, agility og 1RM squat (Wang et al., 2016). Der er altså bred enighed om, at maksimal styrke og RFD har en stor betydning for præstationsevnen.

2.1.4 Belastningen af IST

Eliteatleters kalender er typisk præget af en høj grad af struktur og intensive træninger, hvor dagene ofte er fyldt med forskellige typer af fysiske træningspas, taktiske og tekniske videosessioner, møder samt deltagelse i kampe eller turneringer. Som følge heraf vil der ofte være tilfælde, hvor en styrketræningssession og en sportsspecifik træning planlægges i direkte forlængelse af hinanden.

Dette skyldes både logistiske hensyn og et ønske om at optimere træningseffektiviteten inden for de tidsmæssige rammer, som en eliteatlet arbejder under. Derfor er belastningen af den fysiske træning et stort fokus hos trænere, da udøvernes fokus først og fremmest ligger på sportsgrenen.

Belastningen ved IST har vist sig at være lavere sammenlignet med DST, hvilket indikerer, at IST medfører en mindre grad af udmattelse (Zondi et al., 2015; Lum & Barbosa, 2019; Pippas et al., 2024). Dette udsagn opstår på baggrund af, at træningsformen består af statiske øvelser og dermed intet excentrisk arbejde (Zondi et al., 2015). Af samme grund vil en atlet ofte have en mindre oplevelse af ømhed ved IST, da størstedelen af ømheden opstår ved excentrisk arbejde (Oranchuk et al., 2019).

Dette kan have væsentlige implikationer for træningsplanlægningen hos eliteudøvere, idet lavere udmattelse som følge af IST potentielt giver mulighed for at bevare mere fysisk kapacitet til efterfølgende træning. Derudover kan en reduceret træthedstilstand mindske risikoen for træningsrelaterede skader, som ofte opstår i forbindelse med nedsat neuromuskulær kontrol og kompromitteret bevægelses kvalitet under udmattelse (Lum & Barbosa et al., 2019; Oranchuk et al., 2019).

2.2 PHV

I overgangen fra barndom til ungdom, gennemgår kroppen en række markante fysiologiske og hormonelle forandringer, hvor kropskompositionen, fysiologien, styrken og motorikken ændres markant (Koziel et al., 2024). Ungdomsatleters modenhedsstatus bliver typisk defineret som tiden før/efter vækstspurt, hvilket er perioden, hvor den største vækst sker i puberteten (Mirwald et al., 2002). I forskning vil det ofte være relevant at tage højde for deltagernes modenhedsstatus, da træning kan give forskellige adaptationer i forbindelse med vækstspurten (Mirwald et al., 2002; Koziel et al., 2024). Der kan være stor intraindividuel variation i, hvornår vækstspurten indtræder, men typisk vil det være mellem 13-15 årsalderen (Mirwald et al., 2002).

Modenhedsstatus kan inddeles i tre grupper: Pre-PHV, Mid-PHV og Post-PHV (Moran et al., 2017). Inddelingen i de tre grupper angiver om deltagerne befinder sig før, under eller efter sin vækstspurt og kan have betydning for, hvordan den enkelte responderer til styrketræning (Moran et al., 2017). Ved Pre-PHV vil adaptationerne fra en træningsintervention som regel bestå af neural plasticitet, som kommer til udtryk i en forøgelse af den muskulære styrke (Peña-González et al., 2019). For Mid- og Pre-PHV kan styrketræning være mere effektiv for morfologiske adaptationer, da disse grupper typisk har en større koncentration af anabolske hormoner, såsom testosteron (Moran et al., 2017).

PHV-inddelingen kan findes via røntgenfotografering, hvorfra den biologiske knoglealder kan defineres. Denne metode kræver dog dyrt udstyr og adgang til specialister, hvorfor Mirwald et al. (2002) forsøgte at udvikle en estimeringsmetode ved hjælp af følgende antropometriske målinger: Siddende højde, stående højde, alder og vægt (Mirwald et al., 2002).

Formlen for vækstspurt blev beskrevet således for drenge:

$$\begin{aligned} \text{Vækstspurt} = & -9,236 + 0,0002708 * (\text{benlængde} * \text{siddende højde}) \\ & -0,001663 * (\text{alder} * \text{benlængde}) + (0,007216 * (\text{alder} * \text{siddende højde}) \\ & + 0,02292 * (\text{vægt} * \text{højde}) \end{aligned}$$

Studiet præsenterer en høj korrelation ($r=0,94$) mellem estimeringen af PHV og knoglealder via røntgenfotografering (Mirwald et al., 2002).

Kategoriseringen for hvilken PHV-gruppe, individet befinder sig i, bliver bestemt af værdien, som produceres af ovenstående ligning.

Hvis værdien er $<-0,5$ vil individet betegnes som Pre-PHV, $[-0,5 - 0,5]$ vil være Mid-PHV og hvis værdien er $>0,5$, vil individet betegnes som Post-PHV (Peña-González et al., 2019).

Opsummerende understreger dette vigtigheden i at stratificere for PHV i forskning af unge atleter. Variationen af unikke hormonprofiler kan være stor, på trods af, at de inkluderede personer kan være inden for det samme aldersspænd af bare to til tre år. Derfor bør studier som laver fysiske interventionsundersøgelser på denne aldersgruppe udføre en lignende stratificering, for at opnå homogene grupper. (Moran et al., 2017).

3. Metode

3.1 Forsøgsdesign

Forsøgspersonerne inkluderet i dette studie bestod af 19 drenge i alderen $14,8 \pm 0,3$ år med en gennemsnitlig højde på $169,5 \pm 7,3$ cm og en gennemsnitlig vægt på $55,8 \pm 8,1$ kg. Alle deltagerne spiller i den bedste danske fodboldrække for deres respektive aldersgruppe, U15.

Studiets intervention omfattede to grupper: en IST-gruppe og en DST-gruppe. Gruppeinddelingen var randomiseret, dog med stratificering for faktoren PHV. Netop PHV har vist at have en væsentlig betydning for fysiske parametre og adaptationer i forbindelse med styrketræning, hvorfor et forbehold synes relevant at inddrage (jf. afsnit 2.2). Der blev således foretaget en stratificering, hvor deltagerne blev kategoriseret i henholdsvis *Pre-*, *Mid-* og *Post-PHV* (tabel 1) baseret på tærskelværdierne for *Maturity Offset* fra studiet af Peña-González et al. (2019). I alt var der én Pre-PHV, syv Mid-PHV og elleve Post-PHV, som blev ligeligt fordelt i de to grupper. Gruppeinddelingen blev foretaget ved hjælp af en tilfældig holdgenerator. I denne proces blev alle i Post-PHV først inddelt i grupper, hvorefter Pre- og Mid-PHV blev fordelt tilsvarende.

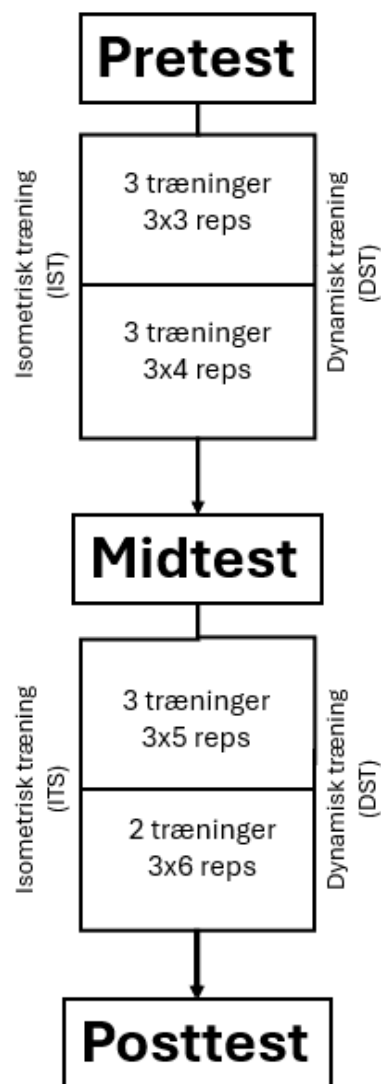
Pre PHV	Mid PHV	Post PHV
< -0,5	-0,5, 0,5	> 0,5

Tabel 1: Opstilling af de tre grupper (Pre-, Mid- og Post PHV) samt de dertilhørende tærskelværdier.

3.1.1 Interventionsperiode

Interventionsperioden strakte sig over otte uger og omfattede to ugentlige træningssessioner af 30 minutters varighed. Derudover blev der gennemført en Pre-test inden interventionens start, en Mid-test efter fire ugers træning og en Post-test efter interventionens afslutning (Figur 1). Interventionen samt testene erstattede deltagernes sædvanlige fysiske træning og var tidsmæssigt tilsvarende deres normale fysiske træningspas. Mid-testen erstattede yderligere en af de planlagte træningspas, hvilket resulterede i 15 træningspas i alt.

Dog blev to træninger aflyst på grund af turneringskampe og to yderligere træninger blev aflyst på grund af en udenlandstur, hvorfor det endelige antal træninger blev 11.



Figur 1: Illustration af træningsinterventionen på otte uger, hvor der gradvist sker en progression fra 3x3 reps til 3x6 reps med indlagte testtider (Pre-, Mid- og Posttest) for både gruppen med isometrisk træning (IST) og gruppen med dynamisk træning (DST).

Begge grupper udførte øvelser, der aktiverer de samme muskelgrupper under træningen. Ud over den fysiske træning deltog forsøgspersonerne i fodboldtræning på eliteplan, hvor forsøgspersonerne havde fem ugentlige træninger og én ugentlig kamp. Træningsinterventionen blev altid gennemført før spillerne gik på banen for at træne fodbold.

3.1.2 Forsøgsdeltagere

Gruppe	Isometrisk	Kontrol	p-værdi ($\alpha = 0,05$)
Alder	14,8 $\pm$ 0,2	14,8 $\pm$ 0,3	0,98
Højde (cm)	169,2 $\pm$ 3,8	169,8 $\pm$ 10,6	0,86
Vægt (kg)	55,2 $\pm$ 5,5	56,5 $\pm$ 11,1	0,76
PHV	0,8 $\pm$ 0,7	0,6 $\pm$ 1,0	0,57
Total (n)	10	9	-

Tabel 2: Oversigt på karakteristika af grupperne (IST og DST). Værdierne for alder, højde, vægt og PHV er angivet i gruppens gennemsnit inkluderet med en standardafvigelse ($\pm$). Det totale antal forsøgspersoner er noteret inden eksklusion af deltagere. Ingen signifikante forskelle blev fundet mellem grupperne på samtlige variabler, som kan aflæses i kolonnen "p-værdi".

3.1.3 Inklusion- og eksklusionskriterier

De overordnede inklusionskriterier var, at forsøgsdeltagerne skulle være en del af truppen hos AaB U15. Derudover skulle forsøgsdeltagerne kunne gennemføre både CMJ og IMTP til Pre-, Mid- og Posttest.

Under interventionsperioden blev der ekskluderet tre forsøgsdeltagere, da to af dem blev skadet under perioden. Ingen af skaderne opstod ved forsøgets træninger eller tests. Yderligere blev én deltager ekskluderet på grund af manglende deltagelse ved Mid- og Posttest (Tabel 3).

Det samlede antal af forsøgsdeltagere, som blev inkluderet i den afsluttende analyse, var derfor 16 ud af de 19, som var inkluderet til forsøgets start.

På baggrund af en lille sample size, blev det valgt at inkludere samtlige deltagere i analysen, på trods af forskellig deltagelsesrate. Derfor blev der både udarbejdet analyser for samtlige deltagere og yderligere analyser for $\geq 80\%$ deltagelsesrate. I denne del af analysen blev der inkluderet ti deltagere (IST = 6; DST = 4).

Nr.	Gruppe	Begrundelse for eksklusion
FP5	IST	Fraværende ved tests
FP10	CON	Brækket arm
FP15	CON	Skade i baglår

Tabel 3: Oversigt over ekskluderede deltagere og dertilhørende begrundelse.

3.2 Interventionsprotokol

3.2.1 Pilotforsøg

Forud for træningens begyndelse blev der gennemført et pilotforsøg af de to interventionsansvarlige. Da de isometriske øvelser ikke udgjorde en integreret del af den sædvanlige træningspraksis i klubben, var det væsentligt at undersøge rammerne for at gennemføre den planlagte intervention. Derudover var de interventionsansvarlige opmærksomme på, at varigheden af hver øvelse ville være relativt lang, idet kontraktionsperioden var fastsat til fem sekunder, efterfulgt af fem sekunders hvile. Det var således nødvendigt at vurdere, om det var muligt at gennemføre øvelserne inden for den fastsatte tidsramme på to minutter per sæt.

Inden pilotforsøgene var det et ønske at have så mange unilaterale øvelser så muligt, for at sikre en mere ligelig belastning af begge ben. Imidlertid viste det sig under pilotforsøget, at denne tilgang ikke var praktisk gennemførlig, primært grundet tidsbegrænsningerne. Derudover blev det konstateret, at to af de på forhånd udvalgte isometriske øvelser ikke kunne udføres i praksis, da det tilgængelige træningsudstyr i træningslokalet ikke var tilstrækkeligt.

På baggrund af pilotforsøgets resultater var det nødvendigt at revidere øvelsesudvalget, således interventionens endelige øvelser blev tilpasset de faktiske forhold. De endelige øvelser, som anvendes i interventionen, beskrives i følgende afsnit.

3.2.2 Træningsintervention

IST-gruppen gennemførte tre isometriske øvelser herunder knæekstension, lægløft og baglårskontraktion, som vil blive beskrevet yderligere i næste afsnit. Hver gentagelse bestod af en kontraktion med en varighed på fem sekunder, efterfulgt af en hvileperiode på fem sekunder (Lum

& Barbosa, 2019). Deltagerne blev instrueret i at arbejde med en intensitet på ~100% ved hver gentagelse.

DST-gruppen udførte tre dynamiske øvelser. Disse øvelser blev udvalgt for at afspejle den sædvanlige fysiske træning, som både indeholder dynamiske og plyometriske elementer, hvorfor øvelsesvalget var reverse nordics, dødløft og hurdle jumps. I de dynamiske øvelser blev spillerne tilskyndet og instrueret i at løfte tungt, idet den maksimale styrke var målet for træningsinterventionen.

Deltagerne i DST-gruppen havde ingen restriktioner for kontraktionstiden pr. gentagelse. Udover dette havde DST-gruppen en aktiv restitutionperiode, hvor der blev udført forskellige former for overkropstræning. I hele træningsinterventionen bestod hver øvelse af fire sæt for begge grupper. Selve sættene foregik med et begreb kaldet “rullende tid”, hvor deltagerne havde to minutter til at gennemføre gentagelserne samt hvile inden næste sæt. Progressionen af træningen forløb som illustreret på figur 1.

3.2.3 Øvelsesvalg for IST-gruppen

Isometrisk knæekstension

Den udøvende deltager lå på maven med knæene mod væggen, således benene var fikseret med en vinkel i knæleddet på cirka 90°. For at den udøvende undgik bevægelse, blev de ligeledes bedt om at holde armene imod en låst bänk. Øvelsen blev udført ved, at den udøvende forsøgte at udføre en maksimal knæekstension i den låste position.



Billede 1: Udførelse af Isometrisk knæekstension.

Isometrisk lægløft

Deltageren stod i en læg ekstensionsmaskine med maksimal kg, som ingen af udøverne var i stand til at løfte. Her havde de forfoden på et trin, således hælen ikke havde kontakt med underlaget. Ved øvelsens igangsættelse skulle deltageren udføre en plantar fleksion i foden, hvilket aktiverede lægmuskulaturen i en ekstenderet position.



Billede 2: Udførelse Isometrisk lægløft.

Isometrisk baglårskontraktion (makkerøvelse)

Den isometriske baglårskontraktion blev udført som en makkerøvelse. Deltageren lå i en liggende position på maven, mens makkeren sad ved fødderne og sikrede, at benene var fikseret i en vinkel på cirka 150-170° i knæleddet. Dette blev sikret ved at den udøverens tæer altid var i kontakt med gulvet. Under øvelsen skulle den udøvende forsøge at trække hælene op mod ballerne, hvilket aktiverede baglårsmuskulaturen i en isometrisk kontraktion.



Billede 3: Udførelse af Isometrisk baglårskontraktion (makkerøvelse).

3.2.4 Øvelsesvalg for DST-gruppen

Reverse Nordics

Øvelsen Reverse Nordics blev udført ved, at udøveren sad på knæene på en måtte, mens vedkommende holdt en vægtskive på brystet. Udøveren blev instrueret i, at både lår og overkrop forblev i en opret position. Bevægelsen bestod i at bøje maksimalt i knæleddet uden at involvere hoftebøjning, hvorefter en ekstension i quadriceps bragte udøveren tilbage til udgangspositionen. Under hele øvelsen blev udøveren instrueret i at opretholde en ret linje fra knæ til hoved samt at anvende den maksimale belastning, som kunne kontrolleres korrekt.



Billede 4: Udførelse af Reverse Nordics.

Dødløft

Ved udførelsen af Dødløft stod udøveren foran en vægtstang med vægtskiver, i en position med bøjet hofte og let bøjede knæ. Udøveren greb vægtstangen med strakte arme og løftede den fra jorden, indtil kroppen var i en opret position, hvorefter vægtstangen blev sænket kontrolleret tilbage til udgangspositionen. Under hele bevægelsen blev udøveren instrueret i at opretholde en neutral rygposition, samt at løfte den tungest mulige vægt under hensyntagen til korrekt teknik.



Billede 5: Udførelse af Dødløft.

Hurdlejumps

Hurdlejumps blev udført ved, at udøveren placerede sig foran en række hække. Øvelsen bestod i at afsætte fra jorden og hoppe over hver hæk i rækken. Udøveren blev instrueret i at minimere kontakttiden med jorden mellem hvert hop, samtidig med at der skulle genereres maksimal kraft i afsættet for at opnå den mest effektive bevægelse.

Denne øvelse var uden ekstern vægt, hvorfor progressionen bestod i en forøgelse fra ti til femten hække.



Billede 6: Udførelse af Hurdlejumps.

3.3 Ømhed

Under udarbejdelse af problemformulering, blev det synliggjort at IST kunne have en anderledes påvirkning på ømhed og udtrætning af musklerne, end den traditionelle DST (jf. afsnit 1) Derfor ville en relevant tilføjelse til studiets metode netop være, at have et mål for dette aspekt.

Træningsintervention blev som tidligere nævnt, udført forinden deres respektive fodboldtræning, hvorfor styrketræningssessionerne var med et vist tidspres. Derfor var det ikke muligt at få forsøgspersonernes umiddelbare subjektive vurdering af anstrengelsesgraden.

Her blev nærværende studie via en samtale med AaB's *Head of Academy Strength & Conditioning* bekendt med at spillerne tidligere havde udfyldt en skala for ømhed. Denne skala var fra 0-10, hvor 0 symboliserede fuldkommen friskhed og ingen ømhed i kroppen, hvorimod 10 symboliserede total udmattelse og ekstrem ømhed i kroppen. Derfor blev denne skala til selvrapportering valgt.

I enkelte tilfælde undlod forsøgsdeltagerne at besvare rettidigt, og til enkelte træninger var der manglende fremmøde hos nogle deltagere, hvilket medfører bortfald af data. For at maksimere datagrundlaget og reducere bias som følge af manglende målinger, blev det besluttet at beregne en gennemsnitsværdi for hver 2. uge. Dette gjorde at datapunkter blev nedskaleret fra de 11 træninger til 4 forskellige tidspunkter; Ømhed 1 Ømhed 2, Ømhed 3 og Ømhed 4.

Dette betød, at hvis en deltager kun havde én besvarelse i løbet af de to uger, blev denne enkeltværdi anvendt i analysen. Hvis der forekom besvarelser for to-tre træningsgange, blev gennemsnittet af disse anvendt. Denne tilgang muliggjorde en mere retvisende og repræsentativ analyse, samtidig med at datatab blev undgået.

3.4 PACES

Tidligere litteratur viser at velvære under udførelse af sport er en væsentlig faktor i forhold til målsætning, opgaveorientering, selvbestemmelse og oplevet kompetence (Boyd & Yin, 1996; Ntoumanis, 2002; Rovniak et al., 2002). Derfor synes det relevant at undersøge forsøgspersonernes subjektive vurdering af velvære i løbet af interventionsperioden.

Physical Activity Enjoyment Scale (PACES) er et velkendt redskab til denne måling og har tidligere vist lovende resultater i forhold til validitet og reliabilitet (Moore et al., 2009). Til undersøgelsen blev PACES-skalaen derfor anvendt, hvilket er en Likert-skala bestående af udsagn, hvor deltagerne angav deres enighed på en skala fra 1 til 5, hvor 1 svarede til "meget uenig" og 5 til "meget enig" (Se bilag 1).

Spørgeskemaet blev besvaret efter fire ugers træning og igen efter interventionens afslutning. Dette blev gjort for at undersøge om tiden havde en indvirkning på forsøgspersonernes oplevelse af træningsinterventionen.

Før den statistiske analyse blev der foretaget en omkodning af de negativt formulerede udsagn. Eksemplificeret betød dette, at en score på 4 i et negativt ladet spørgsmål blev omkodet til 2, således at højere værdier konsekvent reflekterede højere grad af positiv vurdering. Herefter blev der beregnet gennemsnitsscore for hver enkelt deltager, for at muliggøre sammenlignende statistiske analyser, som bliver gennemgået i afsnittet "Statistisk Analyse".

Spørgeskemaet blev oversat til dansk for at sikre en højere grad af forståelse blandt deltagerne og dermed øge validiteten af besvarelserne. For at vurdere den interne reliabilitet af den danske version blev Cronbach's alpha beregnet efter henholdsvis fire og otte ugers intervention. Resultaterne viste en α -værdi på 0,694 efter fire uger (se bilag 22), hvilket indikerer "acceptabel" intern konsistens, samt en α -værdi på 0,813 efter otte uger (se bilag 23), hvilket vurderes som "meget god" intern konsistens.

3.5 Tests og målemetoder

3.5.1 Validitet og reliabilitet af testudstyr

VALD Performance

Testen af IMTP blev udført ved hjælp af kraftplatforme fra VALD Performance (Se billede 8).

Testudstyret består af to kraftplatforme (VALD ForceDecks), som i denne testprotokol blev benyttet til at indsamle data på deltagernes maksimale kraft og deres RFD. RFD blev indsamlet på tre tidspunkter: 50 ms (RFD50), 100 ms (RFD100) og 200 ms (RFD200). Kraftplatformen fungerer ved, at der under toppladen er monteret sensorer, som måler den kraftudvikling, som forsøgspersonen producerer ned i pladen. Kraftplatformen måler ved en frekvens på 1000 Hz (Clubb, 2024).

Reliabiliteten af testudstyret blev undersøgt ved en test-retest-protokol, hvilket betyder, at de samme test blev gennemført med én uges mellemrum. Forsøget viste en høj reliabilitet af målinger af blandt andet IMTP, ($ICC = 0,91-0,99$) (Collings et al., 2024).

Studiet testede validiteten af VALD ForceDecks, hvor en lang række parametre blev sammenlignet med en golden standard. 67,8% af de 674 testede parametre havde en ”fremragende validitet” (<5% afvigelse) 10,7% havde ”god validitet” (5-10% afvigelse), 9,4% havde ”moderat validitet” (10-20% afvigelse) og 12,2% havde ”dårlig validitet” (>20% afvigelse) (Collings et al., 2024). Studiet konkluderer, at VALD ForceDecks er et validt værktøj til en lang række tests, når en standardiseret protokol bliver fulgt nøje (Collings et al., 2024).

OptoJump Next

For den anden del af dette studies testbatteri blev OptoJump Next benyttet til indsamling af data på deltagernes CMJ (Se billede 7). OptoJump Next indsamler data ved hjælp af en lang række LED-dioder, hvor den ene del af udstyret udsender lys og den anden modtager, hvorfra det dertilhørende software kan udregne hoppehøjden med en frekvens på 1000 Hz (Slomka et al., 2017).

Et studie af Slomka et al. (2017) kunne konkludere, at indsamlingen af CMJ-data ved OptoJump Next har ”næsten perfekt reliabilitet” med en ICC på 0.958–0.991 (Slomka et al., 2017).

Selvsamme studie undersøgte ligeledes validiteten af OptoJump Next ved CMJ. Her blev den indsamlede data sammenlignet ved concurrent validitet, hvorfor data blev opholdt med en golden standard. Studiet konkluderer, at OptoJump Next præsenterer "høj validitet" hvor der ingen signifikans blev fundet mellem OptoJump Next og kraftplatform, når et CMJ blev udført (Slomka et al., 2017).

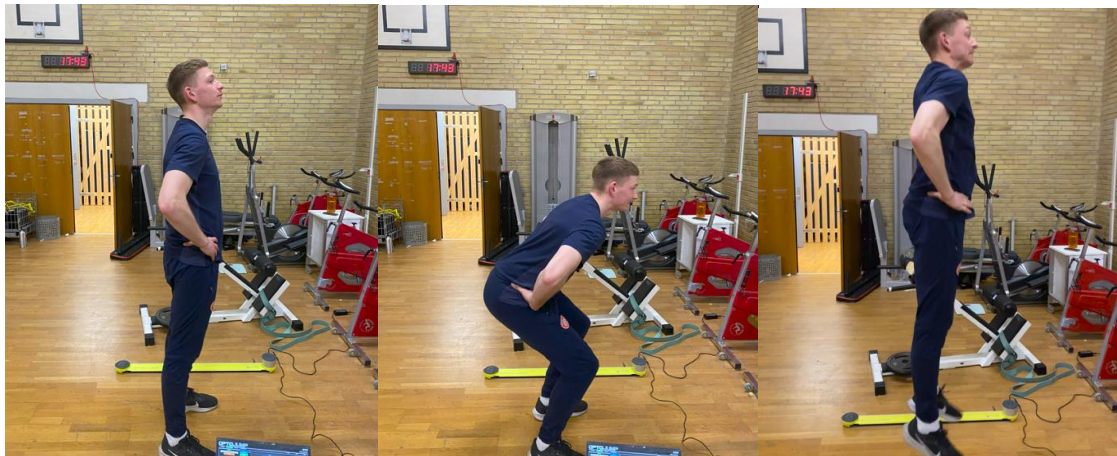
3.5.2 Forberedelse og standardisering af testning

Forud for testningen var det essentielt, at spillerne opnåede en tilstrækkelig muskulær opvarmning. Denne proces blev superviseret af de interventionsansvarlige, som sikrede, at samtlige muskelgrupper var tilstrækkeligt aktiveret inden testningens begyndelse.

3.5.2.1 *Countermovement Jump*

Interventionsansvarlige blev informeret om, at de pågældende tests allerede var blevet gennemført to gange i løbet af januar. Dette indikerede, at spillerne var bekendte med testprocedurerne, hvorfor en særskilt tilvænningstest forud for interventionens start blev vurderet unødvendig. Ikke desto mindre blev det anset som nødvendigt at gennemføre en standardiseret gennemgang af de to tests ved både Pre- Mid- og Posttesten. Under denne gennemgang blev testene både beskrevet og visuelt demonstreret af de interventionsansvarlige for at sikre en ensartet udførelse. Dette skulle bidrage til, at alle forsøgspersoner udførte hoppet med samme tekniske udgangspunkt og med så høj kvalitet som muligt.

Under CMJ blev spillerne instrueret i at placere hænderne på hofterne og udføre hoppet med maksimal kraft. Derudover blev de både før og under testningen vejledt i at undgå en knævinkel større end 90 grader, da dette kunne medføre tab af oplagret energi under bevægelsen (Gheller et al., 2014).



Billede 7: Udførelse af Countermovement Jump.

3.5.2.2 Isometric Mid-Thigh Pull

Ved udførelsen af IMTP blev spillernes knæ- og hoftevinkler først målt ved hjælp af en vinkelmåler. Det var afgørende, at knævinklen var mellem 125 og 145°, mens hoftevinklen skulle være mellem 140 og 150°. Herefter blev forsøgspersonerne instrueret i at opretholde en oprejt torso med let fleksion i knæene. Skuldrene skulle være trukket tilbage og sænket, samtidig med at de var placeret direkte over eller en smule bag stangen. Fødderne skulle positioneres under stangen med hoftebredde, og lårene skulle være i kontakt med stangen (Se billede 8). Det blev desuden understreget, at forsøgspersonerne hverken måtte bøje albuerne eller elevare skuldrene under testen. Som den sidste instruktion inden udførelsen af testen, fik hver testdeltager fortalt at “Forsøg at skubbe dig selv nedad så hurtigt og hårdt som muligt” (Comfort et al., 2019), da ønsket var at måle den individuelle peak force (PF) og RFD.



Billede 8: Udførelse af Isometric Mid-Thigh Pull.

3.6 Statistisk analyse

3.6.1 Primær analyse

3.6.1.1 *Normalfordeling*

Forinden udførelsen af Mixed model ANOVA og de non-parametriske equivalenter; Mann-Whitney, Wilcoxon Signed Rank og Friedman test, blev data undersøgt for normalfordeling. Da antallet af datapunkter var <2000 blev Shapiro-Wilk test benyttet (Kirkwood & Sterne, 2003).

Testene for PF, PF/kg og CMJ for alle forsøgsdeltagere samt PF, PF/kg, RFD200 og RFD100 for $\geq 80\%$ deltagelsesrate var normalfordelte. Dog var der ikke normalfordelingen for RFD200, RFD100 og RFD50 for alle forsøgsdeltagere samt CMJ og RFD50 for $\geq 80\%$ deltagelsesrate.

3.6.1.2 *Mixed Model ANOVA*

Efter udførelse af normalfordeling blev Mixed-Model ANOVA udført på parametrene PF, PF/kg og CMJ for alle forsøgsdeltagere samt PF, PF/kg, RFD200 og RFD100 for $\geq 80\%$ deltagelsesrate.

Denne test blev valgt da målet for studiet var at undersøge forskelle mellem tidspunkterne og samtidig kunne se om der ville opstå en interaktion mellem de to grupper.

I tilfælde af signifikante main effects eller interaktioner blev der udført Bonferroni Post-Hoc analyser, for at illustrere hvori forskellene befandt sig.

3.6.1.3 *Mann-Whitney U-Test*

For parametrene RFD50 RFD100 og RFD200 for alle forsøgsdeltagere samt CMJ og RFD50 $\geq 80\%$ deltagelsesrate var data ikke normalfordelt, derfor skulle der benyttes non-parametriske tests for at undersøge disse. Nærværende studie bekendt er der ikke en decideret equivalent test til en Mixed-Model ANOVA. Der blev derfor først udført en Mann-Whitney U-test for at undersøge forskellene mellem grupperne.

3.6.1.4 *Friedman test*

Da den tidligere nævnte Mann-Whitney U test ikke er tilstrækkelig i forhold til at undersøge det fulde spektrum af data, som en Mixed Model ANOVA blev der ligeledes udarbejdet et Friedman test på hhv. RFD50 RFD100 og RFD200 for alle forsøgsdeltagere samt CMJ og RFD50 $\geq 80\%$ deltagelsesrate på hver af de to grupper. Dette blev gjort for at undersøge om der var forskelle i tidspunkterne for disse tests.

Slutteligt skal det pointeres at nærværende studie efter en visuel gennemgang af testresultater for RFD50 RFD100 og RFD200, blev opmærksomme på at disse data synes ekstremt varierende og utroværdige. Hvorfor disse testresultater bør fortolkes med et vist forbehold.

3.6.2 Sekundære analyse

3.6.2.1 Mann-Whitney U-test

PACES og skala for ømhed adskiller sig fra resterende data, da dette data fortolkes som værende ordinal data og derfor gør samme regler for parametrisk analyse sig ikke gældende. Ordinal data har i sin natur en specifik rangering, men med manglende konsensus om størrelsen på intervallet fra rang til rang (Kirkwood & Sterne, 2003).

For at undersøge forskellen mellem grupperne i hhv. PACES og ømhed blev der derfor benyttet en Mann-Whitney U-test.

3.6.2.2 Friedman test

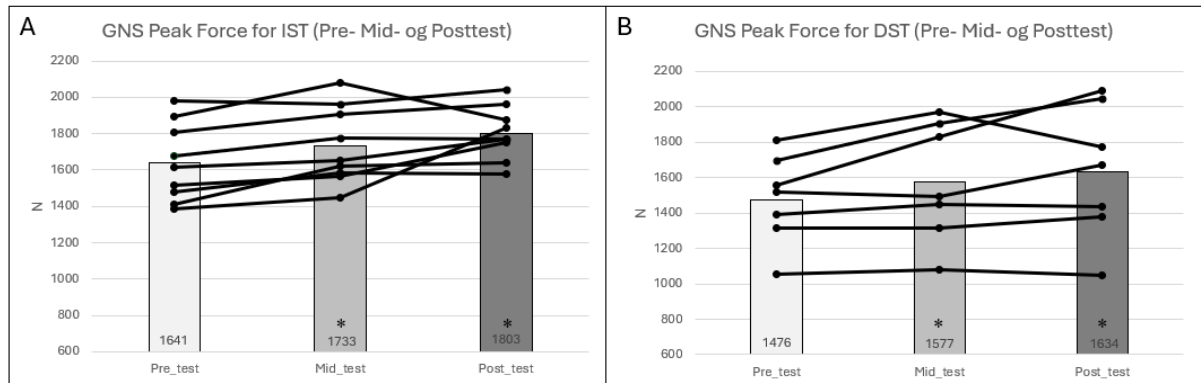
Da der var forskel på mængden af målinger for hhv. ømhed og PACES blev to forskellige tests benyttet. Friedman test er tilsvarende en one way repeated measure, hvorfor netop denne blev benyttet til analysering af ømhed. Denne test gjorde det muligt at undersøge forskelle mellem alle fire tidspunkter.

3.6.2.3 Wilcoxon signed-rank test

PACES havde to tidspunkter, hvorfor der her blev benyttet en Wilcoxon signed-rank test. Denne test er den non-parametriske equivalent til et parret t-test. og gør det derfor muligt at besvare om der er forskel fra uge fire til uge otte i træningsinterventionen.

4. Resultatafsnit

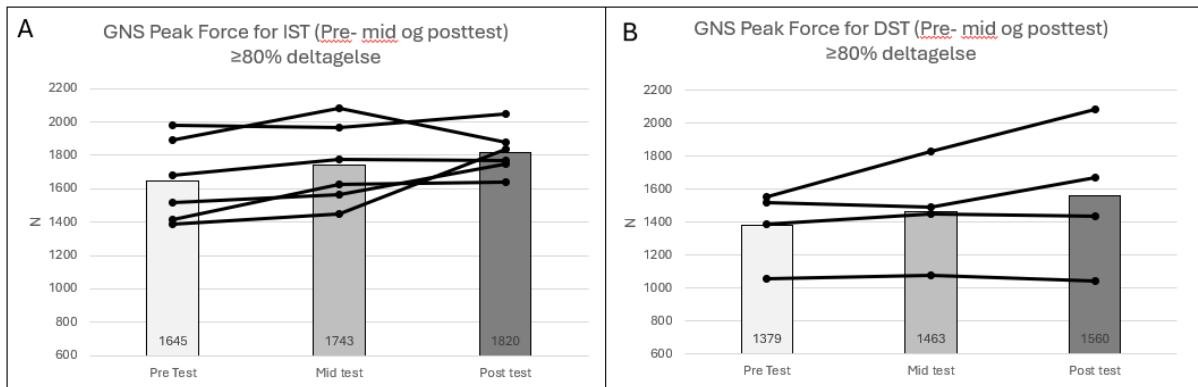
4.1 PF - IMTP



Figur 2: Visualisering af ændringer i peak force (PF) (y-aksen) målt fra isometric mid-thigh pull (IMTP) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen). De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer og main effect af tid er illustreret med * ($\alpha = 0,05$). Figuren er opdelt i bogstaver: **A)** gennemsnitsværdier for IST (Pre = 1641N, Mid = 1733N, Post = 1803N). **B)** gennemsnitsværdier for DST (Pre = 1476N, Mid = 1577N, Post = 1634N).

Ved testparametret PF (IMTP) blev der observeret normalfordeling, hvorfor en mixed model ANOVA blev anvendt. På figuren er der vist en main effect af tid ($p=0,002$) hvor der via en Post hoc analyse blev fundet en signifikant forskel fra Pretest til både Mid- ($p=0,003$) og Posttest ($p=0,007$), men ingen signifikant forskel fra Mid- til Posttest ($p=0,387$).

Yderligere blev der ikke observeret nogen interaktion mellem grupperne ($p=0,971$).

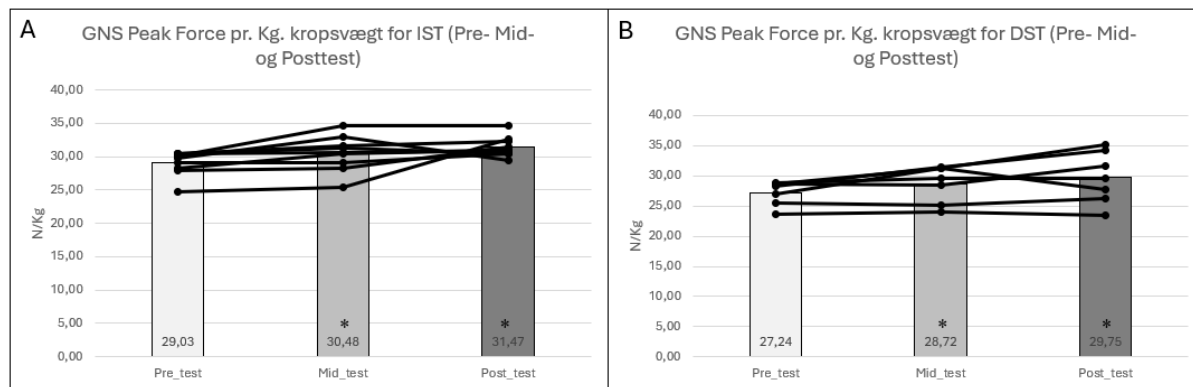


Figur 3: Visualisering af ændringer i peak force (PF) (y-aksen) målt fra isometric mid-thigh pull (IMTP) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen) på deltagere som har deltaget i $\geq 80\%$ af træningen. De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer. Figuren er opdelt i bogstaver: **A)** gennemsnitsværdier for IST (Pre = 1645N, Mid = 1743N, Post = 1820N). **B)** gennemsnitsværdier for DST (Pre = 1379N, Mid = 1463N, Post = 1560N).

Ved testparametret PF (IMTP) for $\geq 80\%$ deltagelsesrate blev der observeret normalfordeling, hvorfor en mixed model ANOVA blev anvendt. Der blev ingen main effect af tid fundet ($p=0,057$).

Yderligere blev der ikke observeret nogen interaktion mellem grupperne ($p=0,974$).

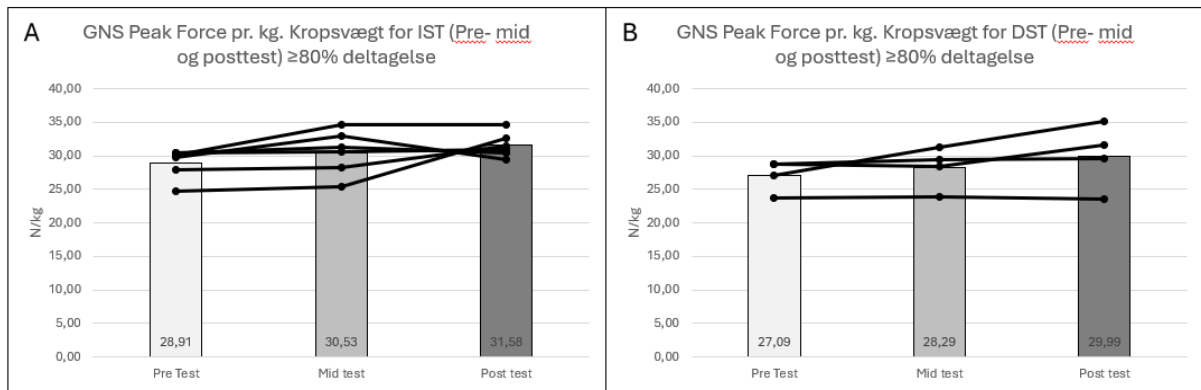
4.2 PF/kg - IMTP



Figur 4: Visualisering af ændringer i peak force/kg (PF/kg) (y-aksen) målt fra isometric mid-thigh pull (IMTP) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen). De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer og main effect af tid er illustreret med * ($\alpha = 0,05$). Figuren er opdelt i bogstaver: **A**) gennemsnitsværdier for IST (Pre = 29,03N/kg, Mid = 30,48N/kg, Post = 31,47N/kg). **B**) gennemsnitsværdier for DST (Pre = 27,24N/kg, Mid = 28,72N/kg, Post = 29,75N/kg).

Ved testparametret PF/kg (IMTP) blev der observeret normalfordeling hvorfor en mixed model ANOVA blev anvendt. På figuren er der vist en main effect af tid ($p=0,006$) hvor der via en Post hoc analyse blev vist en signifikant forskel fra Pretest til både Mid- ($p=0,011$) og Posttest ($p=0,016$), men ingen signifikant forskel fra Mid- til Posttest ($p=0,535$).

Yderligere blev der ikke observeret nogen interaktion mellem grupperne ($p=0,999$).

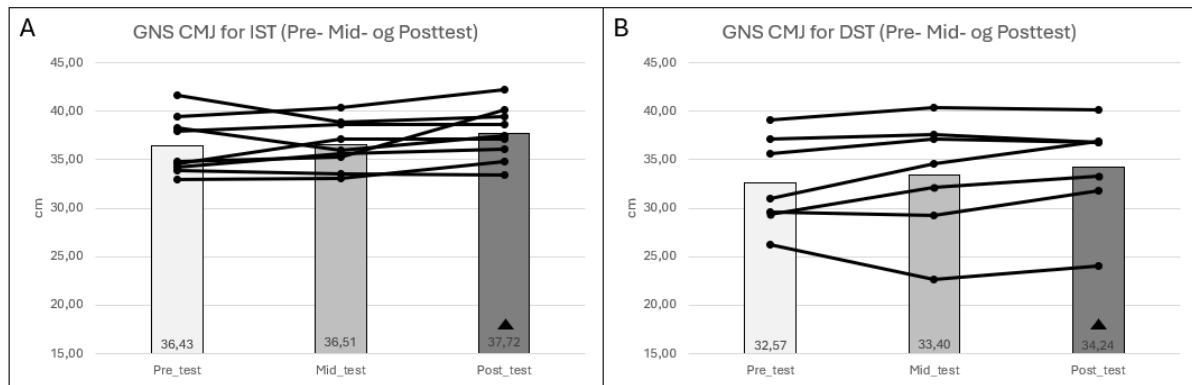


Figur 5: Visualisering af ændringer i peak force/kg (PF/kg) (y-aksen) målt fra isometric mid-thigh pull (IMTP) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen) på deltagere som har deltaget i $\geq 80\%$ af træningen. De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer. Figuren er opdelt i bogstaver: **A**) gennemsnitsværdier for IST (Pre = 28,91N/kg, Mid = 30,53N/kg, Post = 31,58N/kg). **B**) gennemsnitsværdier for DST (Pre = 27,09N/kg, Mid = 28,29N/kg, Post = 29,99N/kg).

Ved testparametret PF/kg. (IMTP) for $\geq 80\%$ deltagelsesrate blev der observeret normalfordeling, hvorfor en mixed model ANOVA blev anvendt. Der blev ingen main effect af tid fundet ($p=0,080$).

Yderligere blev der ikke observeret nogen interaktion mellem grupperne ($p=0,927$).

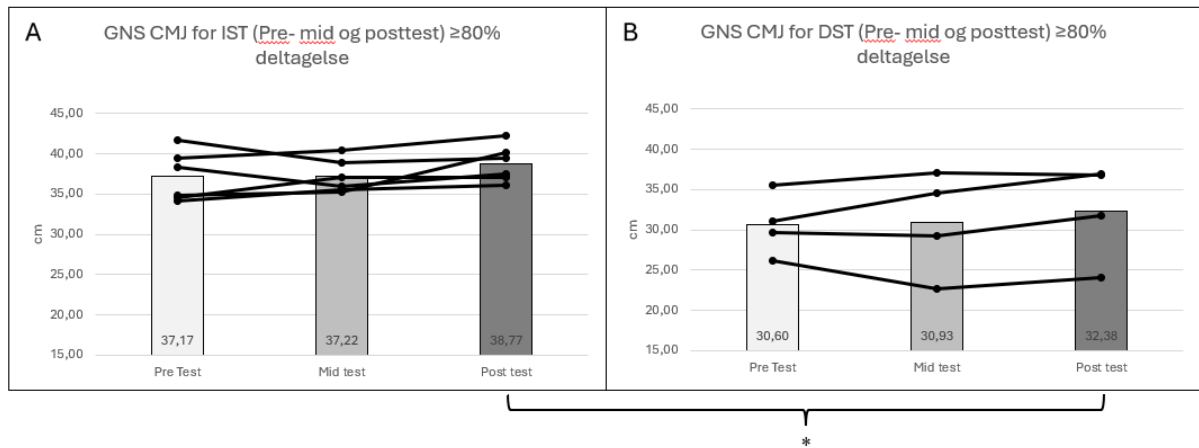
4.3 CMJ



Figur 6: Visualisering af ændringer i hoppehøjde (y-aksen) målt fra Countermovement Jump (CMJ) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen). De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer og main effect af tid fra Midtest til Posttest er illustreret med $\blacktriangle$ ($\alpha = 0,05$). Figuren er opdelt i bogstaver: **A)** gennemsnitsværdier for IST (Pre = 36,43 cm, Mid = 36,51 cm, Post = 37,72 cm). **B)** gennemsnitsværdier for DST (Pre = 32,57 cm, Mid = 33,40 cm, Post = 34,24 cm).

Ved testparametret CMJ blev der observeret normalfordeling, hvorfor en mixed model ANOVA blev anvendt. På figuren er der vist en main effect af tid ($p=0,045$) hvor der via en Post hoc analyse blev fundet en signifikant forskel fra Mid- til Posttest ($p=0,45$). Der blev dog ikke fundet nogle signifikante forskelle fra Pre- til Midtest ($p=1,0$) eller fra Pre- til Posttest ($p=0,093$).

Yderligere blev der ikke observeret nogen interaktion mellem grupperne ($p=0,698$).

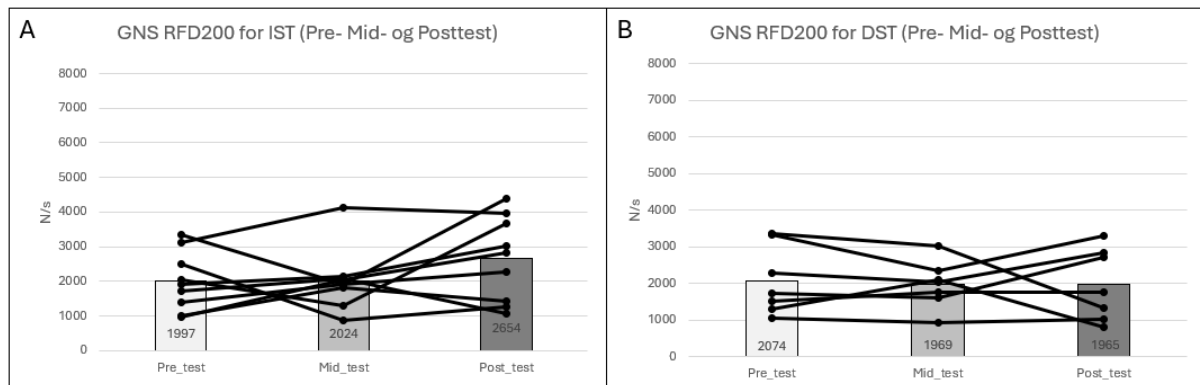


Figur 7: Visualisering af ændringer i hoppehøjde (y-aksen) målt fra Countermovement Jump (CMJ) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen) på deltagere som har deltaget i $\geq 80\%$ af træningen. De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer og between group effect er mellem post tests er illustreret med * ($\alpha = 0,05$). Figuren er opdelt i bogstaver: **A**) gennemsnitsværdier for IST (Pre = 37,17 cm, Mid = 37,22 cm, Post = 38,77 cm). **B**) gennemsnitsværdier for DST (Pre = 30,6 cm, Mid = 30,93 cm, Post = 32,38 cm).

Ved testparametret CMJ for $\geq 80\%$ deltagelsesrate blev der ikke observeret normalfordeling, hvorfor en Friedman- samt Mann-Whitney test blev anvendt. På figuren er der ingen main effect af tid ved hverken IST eller DST ($p=0,200$ og $p=0,472$). Yderligere var der heller ingen main effect af gruppe for hhv. Pre- og Midtest ($p=0,067$ og $p=0,067$). Dog blev der fundet main effect af gruppe for Posttesten ($p=0,038$), hvor IST hoppede signifikant højere end kontrolgruppen.

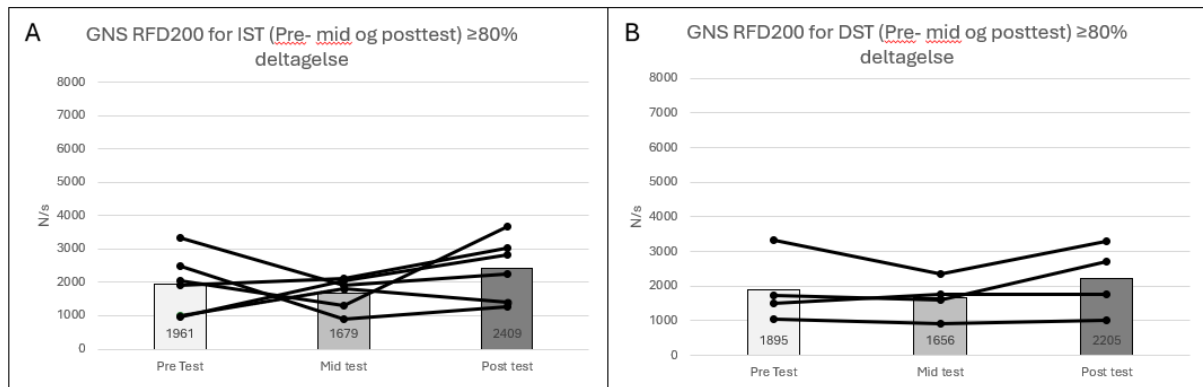
4.5 Rate of force development (RFD)

4.5.1 RFD 200ms - IMTP



Figur 8: Visualisering af ændringer i RFD målt med en frekvens på 200ms (y-aksen) målt fra isometric mid-thigh pull (IMTP) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen). De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer. Figuren er opdelt i bogstaver: **A)** gennemsnitsværdier for IST (Pre = 1997N/s, Mid = 2024N/s, Post = 2654N/s). **B)** gennemsnitsværdier for DST (Pre = 2074N/s, Mid = 1969N/s, Post = 1965N/s).

Ved testparametret RFD200 (IMTP) blev der ikke observeret normalfordeling, hvorfor en Friedman- samt Mann-Whitney test blev anvendt. På figuren er der ingen main effect af tid ved hverken IST eller DST ($p=0,368$ og $p=0,368$). Yderligere var der heller ingen main effect af gruppe for hhv. Pre- Mid og Posttest ($p=0,837$, $p=0,837$ og $p=0,210$).

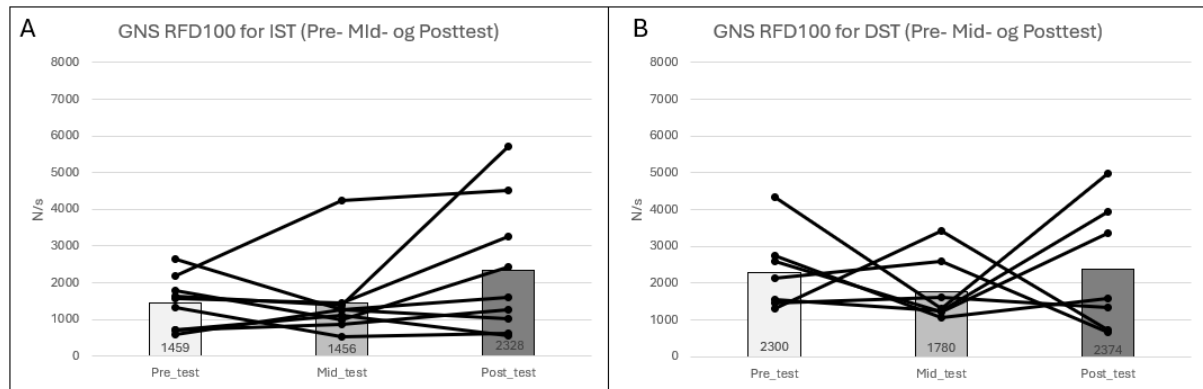


Figur 9: Visualisering af ændringer i RFD målt med en frekvens på 200ms (y-aksen) målt fra isometric mid-thigh pull (IMTP) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen) på deltagere som har deltaget i $\geq 80\%$ af træningen. De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer. Figuren er opdelt i bogstaver: **A)** gennemsnitsværdier for IST (Pre = 1961N/s, Mid = 1679N/s, Post = 2409N/s). **B)** gennemsnitsværdier for DST (Pre = 1895N/s, Mid = 1656N/s, Post = 2205N/s).

Ved testparametret RFD200 (IMTP) for $\geq 80\%$ deltagelsesrate blev der observeret normalfordeling, hvorfor en mixed model ANOVA blev anvendt. Der blev ingen main effect af tid fundet ($p=0,136$).

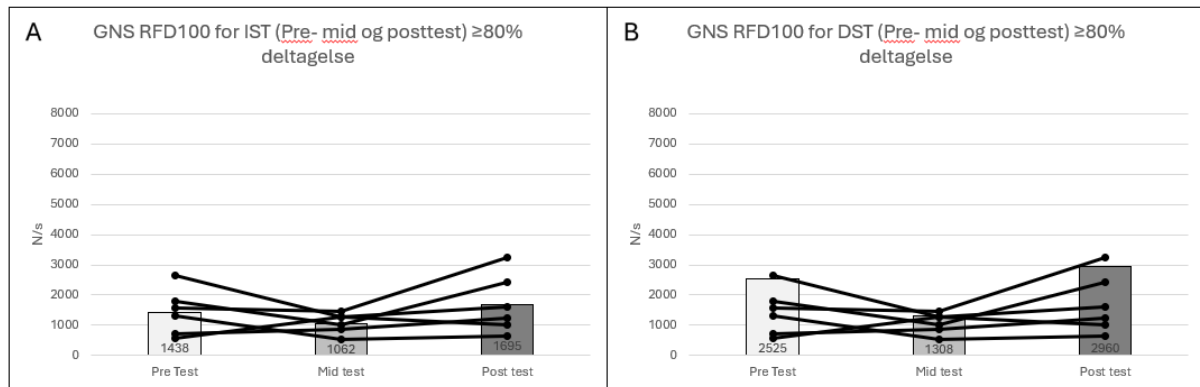
Yderligere blev der ikke observeret nogen interaktion mellem grupperne ($p=0,948$).

4.5.2 RFD 100ms - IMPT



Figur 10: Visualisering af ændringer i RFD målt med en frekvens på 100ms (y-aksen) målt fra isometric mid-thigh pull (IMTP) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen). De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer. Figuren er opdelt i bogstaver: **A)** gennemsnitsværdier for IST (Pre = 1459N/s, Mid = 1456N/s, Post = 2328N/s). **B)** gennemsnitsværdier for DST (Pre = 2300N/s, Mid = 1780N/s, Post = 2374N/s).

Ved testparametret RFD100 (IMTP) blev der ikke observeret normalfordeling, hvorfor en Friedman- samt Mann-Whitney test blev anvendt. På figuren er der ingen main effect af tid ved hverken IST eller DST ($p=0,236$ og $p=0,867$). Yderligere var der heller ingen main effect af gruppe for hhv. Pre- Mid og Posttest ($p=0,210$, $p=0,351$ og $p=0,758$).

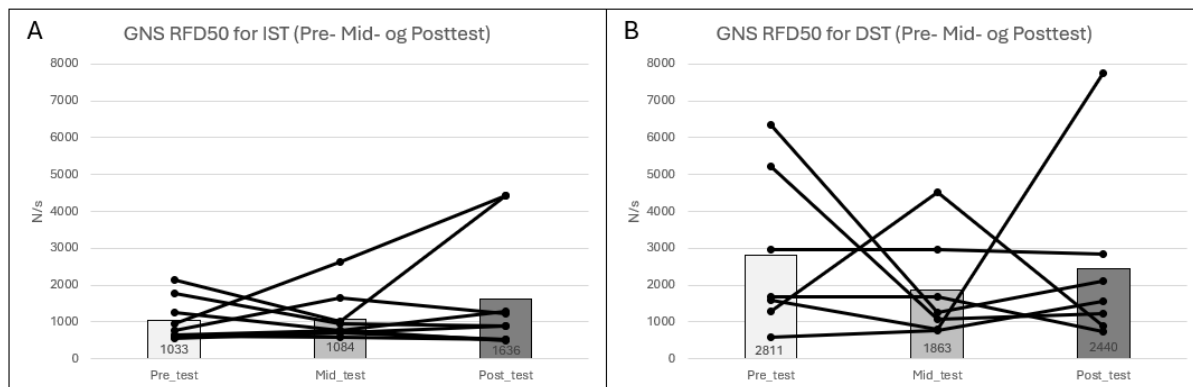


Figur 11: Visualisering af ændringer i RFD målt med en frekvens på 100ms (y-aksen) målt fra isometric mid-thigh pull (IMTP) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen) på deltagere som har deltaget i $\geq 80\%$ af træningen. De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer. Figuren er opdelt i bogstaver: **A)** gennemsnitsværdier for IST (Pre = 1438N/s, Mid = 1062N/s, Post = 1695N/s). **B)** gennemsnitsværdier for DST (Pre = 2525N/s, Mid = 1308N/s, Post = 2960N/s).

Ved testparametret RFD100 (IMTP) for $\geq 80\%$ deltagelsesrate blev der observeret normalfordeling, hvorfor en mixed model ANOVA blev anvendt. Der blev ingen main effect af tid fundet ($p=0,076$).

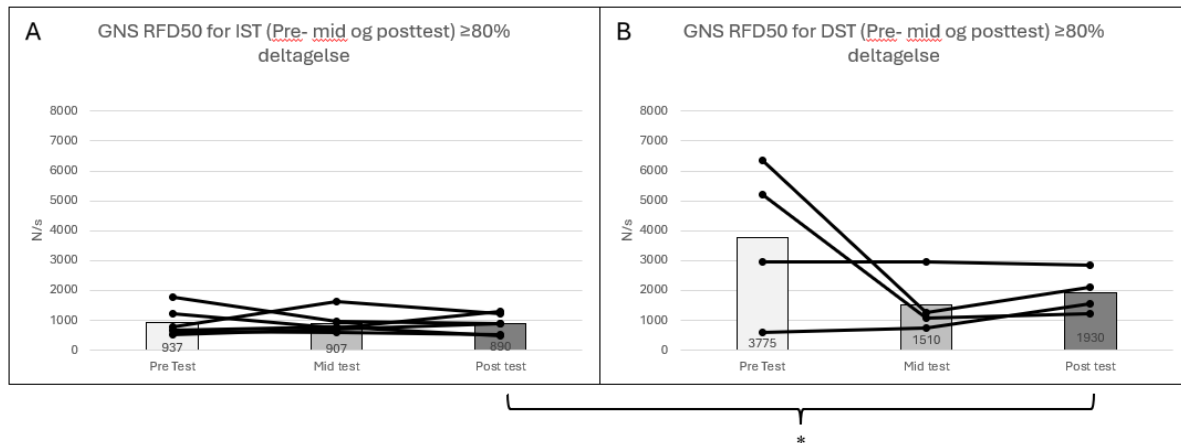
Yderligere blev der ikke observeret nogen interaktion mellem grupperne ($p=0,458$).

4.5.3 RFD 50ms - IMTP



Figur 12: Visualisering af ændringer i RFD målt med en frekvens på 50ms (y-aksen) målt fra isometric mid-thigh pull (IMTP) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen). De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer og main effect af gruppe er illustreret med * ($\alpha = 0,05$). Figuren er opdelt i bogstaver: **A**) gennemsnitsværdier for IST (Pre = 1033N/s, Mid = 1084N/s, Post = 1636N/s). **B**) gennemsnitsværdier for DST (Pre = 2811N/s, Mid = 1863N/s, Post = 2440N/s).

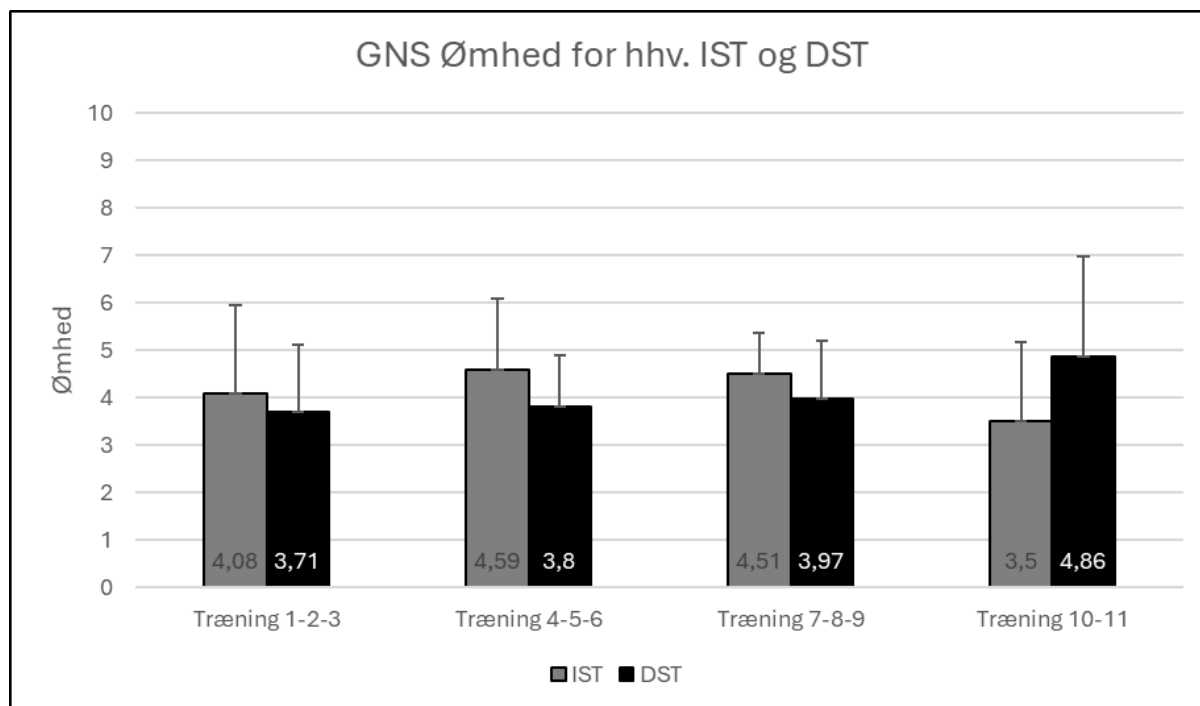
Ved testparametret RFD50 (IMTP) blev der ikke observeret normalfordeling, hvorfor en Friedman- samt Mann-Whitney test blev anvendt. På figuren er der ingen main effect af tid ved hverken IST eller DST ($p=0,895$ og $p=0,630$). Yderligere var der ingen main effect af gruppe for hhv. Pre- Mid og Posttest ($p=0,055$, $p=0,071$ og $p=0,299$).



Figur 13: Visualisering af ændringer i RFD målt med en frekvens på 50ms (y-aksen) målt fra isometric mid-thigh pull (IMTP) fra Pre- til Mid- til Posttest (x-aksen) på deltagere som har deltaget i $\geq 80\%$ af træningen. De individuelle værdier er illustreret med sorte linjer og main effect af gruppe på Posttests er illustreret med * ($\alpha = 0,05$). Figuren er opdelt i bogstaver: **A)** gennemsnitsværdier for IST (Pre = 937N/s, Mid = 907N/s, Post = 890N/s). **B)** gennemsnitsværdier for DST (Pre = 3775N/s, Mid = 1510N/s, Post = 1930N/s).

Ved testparametret RFD50 (IMTP) for $\geq 80\%$ deltagelsesrate blev der ikke observeret normalfordeling, hvorfor en Friedman- samt Mann-Whitney test blev anvendt. På figuren er der ingen main effect af tid ved hverken IST eller DST ($p=0,846$ og $p=0,549$). Yderligere var der ingen main effect af gruppe for hhv. Pre- og Midtest ($p=0,171$ og $p=0,171$). Dog blev der fundet main effect af gruppe for Posttesten ($p=0,019$), hvor DST havde signifikant højere RFD end IST.

4.6 Skala for ømhed



Figur 14: Visualisering af de gennemsnitlige ændringer i indrapportering af ømhed gennem interventionsperioden (y-aksen). Perioden er samlet i fire grupper (x-aksen), hvor træning 1, 2 og 3 (IST=4,08±1,87 og DST=3,71±1,41) Træning 4, 5 og 6 (IST=4,59±1,52 og DST=3,8±1,10) Træning 7, 8 og 9 (IST=4,51±0,87 og DST=3,97±1,23) og træning 10 og 11 (IST=3,5±1,66 og DST=4,86±2,12).

Ved testparametret Ømhed blev en Friedman- samt Mann-Whitney test anvendt. På figuren er der ingen main effect af tid ved hverken IST eller DST ($p=0,160$ og $p=0,566$). Yderligere var der ingen main effect af gruppe for hhv. Ømhed1, Ømhed2, Ømhed3 eller Ømhed4 ($p=0,681$, $p=0,210$, $p=0,470$ og $p=0,174$).

5. Diskussion

5.1 Primære resultater

5.1.1 Main effect af tid (IMTP)

Der blev rapporteret en signifikant main effect af tid på PF. Her blev det rapporteret at Mid- og Posttesten var hhv. 5,6% og 9,9% større end Pretesten for IST-gruppen og 6,8% og 10,7% for DST-gruppen (figur 2). Det nærværende studie forsøgte at kontrollere for kropsvægt ved målingerne, og resultaterne viste ligeledes at Mid- og Posttesten var signifikant større end Pretesten, med relative ændringer på 5,0% og 8,4% for IST-gruppen og 5,4% og 9,2% for DST-gruppen (figur 4).

Et studie af Folland et al. (2005) undersøgte effekten af en ni ugers træningsintervention på maksimal styrke i quadriceps. Deltagerne bestod af 33 unge mænd i alderen 18–30 år, hvoraf det ene ben blev trænet isometrisk og det andet dynamisk. Resultaterne viste en signifikant main effect af tid på maksimal styrke, idet styrken blev forøget med henholdsvis 10,5% og 10,7% for det isometrisk og det dynamisk trænedes ben (Folland et al., 2005).

Et nyere studie af Lum et al. (2022) undersøgte effekten af seks ugers træning, hvor deltagerne enten gennemførte isometrisk eller plyometrisk træning. Træningen resulterede i en signifikant main effect af tid på PF for IST-gruppen. Her skete der en forbedring på 11,5% (Lum et al., 2022).

Som beskrevet tidligere, viser studiet af Folland et al. (2005) en signifikant forbedring på den maksimale styrke ved IST på en interventionsperiode af ni uger med tre træninger om ugen. Et sammenligneligt resultat bliver præsenteret i nærværende studie, hvor interventionsperioden har strukket sig over otte uger, hvorimod interventionen har bestået af to træninger om ugen.

Studiet af Lum et al. (2022) viser til gengæld den forøgete forbedring af PF på bare en periode af seks uger med to ugentlige træninger.

Resultaterne fra nærværende studie viser, at der allerede sker en forbedring hos IST-gruppen ved Midtesten. Det vil sige, at der efter fire uger kan måles en forøgelse af netop denne træningsintervention.

Det tyder derfor på, at interventionsprotokollen har været tilstrækkelig for at inducere en forøgelse af PF hos unge elitefodboldspillere. Der kan dog stadig være tvivl om, hvilke andre årsager der kan spille ind i forøgelsen under interventionsperioden. Deltagerne er alle en del af et elitesportsmiljø, hvor det primære fokus ligger på forbedringen af de fodboldmæssige færdigheder. Det betyder, at

en typisk uge består af fem fodboldtræninger og én kamp, men på bare to af dagene er der afsat tid til styrketræning. Derfor kan det ikke afvises, at den store volumen af fodboldtræning kan have indflydelse på deltagernes udvikling af PF over en periode på otte uger. Samtidig er deltagerne i det aldersspænd, hvor der kan være stor forskel på, hvor de befinder sig, i forbindelse med deres individuelle vækstspurt (Mirwald et al., 2002).

Yderligere kan det ikke udelukkes, at der på trods af familiarisering til IMTP-protokollen inden interventionens start, ikke er sket en tilvænning mellem de tre testtider. IMTP er en kompleks testmetode, hvor der kan være flere årsager til ukorrekt udførelse.

Her beskriver studiet af Comfort et al. (2019), at der bør være en familiariseringsperiode, hvor deltagerne opnår god kendskab til testproceduren (Comfort et al., 2019). Forinden interventionens start havde deltagerne gennemført IMTP som en del af et større testbatteri, hvilket nærværende studie måtte anvende som tilvænning af testen på grund af et tidsmæssigt pres.

Dette har muligvis haft indflydelse på deltagernes resultater fra de forskellige testtider, da de interventionsansvarlige inden interventionens start måtte formode, at deltagerne havde fået en tilstrækkelig introduktion og tilvænning af testen ved den tidligere gennemgang. Det havde været ønskværdigt at de interventionsansvarlige selv stod for tilvænningstesten, da dette kunne have gjort familiariteten til den specifikke protokol endnu stærkere.

5.1.2 Interaktion mellem grupperne (IMTP)

Der blev ikke fundet nogen signifikant interaktion mellem grupperne for PF (figur 2).

Det tidligere nævnte studie af Folland et al. (2005) undersøgte yderligere gruppeinteraktioner i både en isometrisk og en dynamisk styrketest. Resultaterne viste, at begge ben – det der havde gennemgået IST, og det der havde gennemgået DST – opnåede signifikante forbedringer i både isometrisk og dynamisk styrke. Der blev desuden observeret en signifikant interaktion i den isometriske test, hvor det ben, der havde været udsat for IST, forbedrede sig signifikant mere end det ben, der havde modtaget DST. I den dynamiske test blev der derimod ikke fundet nogen signifikant interaktionseffekt mellem grupperne.

Dette står i kontrast til nærværende studie, hvor der ikke blev observeret signifikante forskelle i udviklingen af den isometriske test (IMTP) mellem grupperne.

En mulig forklaring på dette resultat kan være, at DST-gruppen i hele træningsperioden udførte dødløft. Dette er en øvelse, der i høj grad ligner IMTP både med hensyn til bevægelsesmønster og

involverede muskelgrupper. Selvom begge grupper havde til hensigt at træne de samme muskelgrupper, kan det antages, at den biomekaniske lighed mellem dødløft og IMTP har medført en større specifik overførsel i DST-gruppen. Dermed kan overførslen fra den dynamiske øvelse til testbetingelserne have været mere direkte end for de isometriske øvelser, som blev anvendt i IST-gruppen, hvilket potentielt har udlignet de forventede forskelle mellem grupperne.

5.1.3 Main effect af tid (CMJ)

For CMJ blev der observeret en signifikant forøgelse fra Mid- til Posttest, med en relativ ændring på 3,3% for IST-gruppen og 2,5% for DST-gruppen (figur 6).

Studiet af Lum et al. (2022) testede ligeledes forbedringen i hoppehøjde ved hjælp af CMJ. Resultaterne fra studiet viste, at der efter en periode på seks uger med IST kunne rapporteres en signifikant forøgelse af hoppehøjden med 8,7% (Lum et al., 2022). Hvilket stemmer overens med nærværende studies resultater, blot med en numerisk lavere forøgelse.

Studiet af Lum et al. (2022) anvender 22 trænede distanceløbere, men 14 ud af 22 havde ingen erfaring med styrketræning. Når denne population sammenlignes med nærværende studies samlede gruppe, kan der være en større gevinst hos distanceløberne, da de ingen erfaring havde med hverken styrketræning eller testerfaring med CMJ.

Deltagerne i nærværende studie havde derimod stor erfaring i både styrketræning og CMJ, da denne test er en fast del af AaB's testbatteri.

Som beskrevet i teorien (jf. afsnit 2.1.2), viser forskningen at IST både kan forårsage morfologiske adaptationer lige så vel som neurale adaptationer (Noorköiv et al., 2014). Nærværende studie viser ingen signifikant forøgelse af hoppehøjden på de første fire uger af interventionen, men først til Posttesten, som bliver målt efter otte uger. Studiet af Lum et al. (2022) viser allerede en signifikant forøgelse efter seks uger. Typisk vil det tage op til otte uger før der vil kunne måles signifikante morfologiske adaptationer, hvorimod de neurale adaptationer indtræder tidligere (Noorköiv et al., 2014). Derfor kan en mulig forklaring være, at distanceløberne forbedrede hoppehøjden allerede efter seks uger på grund af neurale adaptationer (Carolan & Caferelli, 1992). Hvorimod de unge elitefodboldspillere, på trods af deres aldersgruppe, allerede har flere års erfaring med styrketræning. Dette kunne forårsage, at forsøgsparticipanterne i nærværende studie ikke har haft mulighed for at opleve en lige så markant styrkefremgang via de neurale adaptationer, som

distanceløberne oplevede i studiet af Lum et al. (2022). Hvorfor der ikke har været en signifikant forskel fra Pre- til Midtest.

5.1.3.1 $\geq 80\%$ deltagelsesrate (CMJ)

I resultatafsnittet blev der lavet en yderligere analyse, hvor der kun blev inkluderet forsøgsdeltagere, som var fremmødt til $\geq 80\%$ af træningerne. Her viser analysen, at den tidligere rapporterede main effect af tid forsvinder (figur 7), men den samme tendens er stadig til stede, med hhv 4,3% og 5,8% stigning fra Pre- til Posttest for IST-gruppen og DST-gruppen.

Årsagen til manglen på signifikans skyldes formentlig en lav statistisk power, da de inkluderede forsøgsdeltagere går fra det totale antal på 16 til 10.

Her viser det sig på figur 6 og 7, at én forsøgsdeltager konsekvent, ligger et stykke under de resterende forsøgsdeltagere i forbindelse med hoppehøjden i CMJ. Denne forsøgsdeltager viser endda et numerisk fald fra Pre- til Midtest, Yderligere observeres der minimale ændringer fra Mid- til Posttesten, som i sammenspil med den formindskede statistiske power kan være en årsagsforklaring til, at der ingen main effect af tid er at rapportere i CMJ, når der stratificeres for træningsdeltagelse.

Årsagen til denne forværring i præstation kan være vanskelig at fastslå entydigt, men potentielle forklaringer kan inkludere faktorer som muskulær ømhed efter træning, mental træthed eller andre individuelle belastninger (Staiano et al., 2023). Desuden er det værd at notere, at denne deltager var den eneste i studiet, der stadig var Pre-PHV under interventionen, hvilket kan indikere, at vedkommende havde et begrænset potentiale for morfologiske adaptationer, hvilket kan have reduceret effekten af den anvendte træningsintervention (Noorkõiv et al., 2014).

5.1.4 Interaktion mellem grupperne (CMJ)

Der blev ikke fundet en interaktion mellem de to grupper for CMJ (figur 6).

Et studie af Lum et al. (2021) undersøgte effekten af to forskellige former for IST på den vertikale hoppepræstation i CMJ. Begge interventionsgrupper udførte isometrisk squat, men adskilte sig ved kontraktionens varighed. Den ene gruppe blev instrueret i at opretholde muskelkontraktionen i tre sekunder, mens den anden gruppe udførte kontraktionen uden en rapporteret holdetid. Efter seks ugers intervention blev der i begge grupper observeret en signifikant main effect på CMJ.

Derudover konkluderede et review af Pérez-Gómez (2013), at den mest effektive metode til at forbedre vertikale hoppepræstationer synes at være en kombination af tung styrketræning og plyometrisk træning. Det skal dog bemærkes, at dette review ikke inkluderede IST i sammenligningen.

Der eksisterer således evidens for, at IST kan medføre forbedringer i vertikal hoppepræstation. Imidlertid fremhæves det i den eksisterende litteratur, at den mest effektive metode til at optimere CMJ er en kombination af tung styrketræning og plyometrisk træning (Pérez-Gómez, 2013). Dette står i kontrast til fundene i nærværende studie, hvor der ikke blev identificeret nogen signifikant interaktion mellem grupperne i forhold til ændringer i CMJ.

Som beskrevet i metodeafsnittet om IST (jf. afsnit 3.2.2), bestod interventionen af to træninger om ugen, hvor hver gentagelse i IST-gruppen var af makismal kontraktion i fem sekunder. Derimod blev der ikke defineret en præcis varighed for løftene i DST-gruppen.

Ifølge Da Silva et al. (2016), har varigheden af den muskulære aktivering en betydelig indflydelse på styrketræningens adaptionspotentiale. Dette kan muligvis tilskrives den øgede muskulære stimulation fra øvelserne i IST, hvilket udmønter sig i en større træningseffekt. DST-gruppen har i højere grad fokuseret på specifikke øvelser rettet mod at forbedre CMJ, idet de kombinerede tung styrketræning med plyometriske øvelser, hvilket kan have udlignet den formodede differentiering af de to grupper i CMJ.

5.1.4.1 $\geq 80\%$ deltagelsesrate (CMJ)

Resultaterne for $\geq 80\%$ deltagelsesrate viste ingen forskelle mellem grupperne ved henholdsvis Pre- og Midtesten (figur 7). Ved Posttesten blev der til gengæld observeret en signifikant between group effect til fordel for IST-gruppen med en relativ forskel på 19,7% (figur 7). Dette fund indikerer, at et højt træningsfremmøde kan have væsentlig betydning for effekten af IST på præstation i et vertikalt hop. Dette er et interessant fund, da det således tyder på, at IST-gruppen i højere grad kan forbedre sig ved højere træningsvolumen. Det observeres dog også at IST var numerisk højere ved Pretesten på 21% (figur 7). Grunden til at der ingen between group effect observeres, skyldes formentlig en større varians ved Pretesten.

Forinden interventionens start havde deltagerne to ugentlige styrketræningspas, som primært bestod af plyometrisk træning og DST, hvor IST har været benyttet minimalt. En årsag til forbedringerne for IST ved større træningsfremmøde, kan derfor tilskrives, at deltagerne i højere grad tilvendt sig IST og lærte øvelserne, hvilket resulterede i et større træningsudbytte, efter flere træninger. En

anden årsag kan være tidligere nævnte pointe fra Da Silva et al. (2016), om at varigheden af den muskulære aktivering har en betydning. Ved mere IST bliver den overordnet varighed yderligere forstørret i forhold til DST-gruppen, hvilket vil resultere i større forbedringer.

Det skal bemærkes, at der i analysen blev anvendt separate gruppesammenligninger på hvert enkelt måletidspunkt (non parametrisk test), hvorfor der ikke kan konkluderes en egentlig interaktionseffekt mellem gruppe og tid. Ikke desto mindre antyder fundet ved Posttesten, at IST-gruppen muligvis har opnået større træningsrelaterede adaptationer i løbet af interventionsperioden, hvilket afspejles i den signifikante forskel, der først opstår ved studiets afslutning ved $\geq 80\%$ deltagelsesrate (figur 7).

5.2 Sekundære resultater

5.2.1 Ømhed

Der blev ikke fundet signifikante forskelle i ømhed mellem grupperne, der blev dog observeret visse tendenser i data (figur 14). Fra ømhedsmåling 1-3 (uge 1-6) rapporterede IST-gruppen gennemsnitligt højere ømhed end DST-gruppen. Omvendt var den gennemsnitlige oplevede ømhed i måling 4 (uge 7-8) numerisk højere i DST-gruppen sammenlignet med IST-gruppen (figur 14). Selvom disse forskelle ikke er statistisk signifikante, kan det indikere mulige forskelle i træningsbelastningen og ømheden heraf.

Et studie af Pippas et al. (2024) undersøgte indrapporteringen af ømhed hos mandlige fodboldspillere i en otte-ugers træningsintervention med enten en dynamisk øvelse (Copenhagen Adductor) eller en isometrisk øvelse (Adductor Squeeze) fokuseret på lysken. Resultaterne viste en signifikant højere grad af ømhed i den dynamiske gruppe fra træning 3 til træning 16 (Pippas et al., 2024). Denne oplevede ømhed hos den dynamiske gruppe, skyldes formentlig at excentriske bevægelser – hvor musklerne forlænges under belastning – typisk forbindes med større mekanisk stress og dermed en øget risiko for ømhed (Zondi et al., 2015).

Tendensen fra ømhedsmåling 1-3 kan virke overraskende for nogle, da det med denne viden kunne forventes, at DST-gruppen, som inkluderede øvelser med excentriske elementer, ville rapportere en højere grad af muskelømheden end IST-gruppen.

Denne forskel i ømhed kan eventuelt forklares ved, at deltagerne i IST-gruppen blev præsenteret for en træningsform, som de havde begrænset eller ingen tidligere erfaring med. Tidligere litteratur peger på, at ømhed kan blive forstærket ved påbegyndelsen af et nyt træningsprogram, uanset den specifikke bevægelsestype (Zondi et al., 2015; Cheung et al., 2003).

Omvendt bestod DST-gruppens styrketræningsprogram af øvelser, der i højere grad lignede deres sædvanlige træningsrutine forinden interventionen. Dette kan have medført, at deltagerne i IST-gruppen oplevede en større grad af ømhed i begyndelsen af interventionsperioden, på trods af, at tidligere studier har vist, at IST er en mindre energikrævende metode (Lum & Barbosa, 2019).

Et tiltag for at undgå denne periode, hvor deltagernes skulle tilvænne sig de nye øvelser, kunne det have været en mulighed at søge inspiration i øvelsesvalget fra studiet af Pippas et al. (2024).

Copenhagen Adductor og Adductor Squeeze er begge hyppigt anvendte øvelser i fodboldverdenen, da de kræver få remedier og derfor kan udføres direkte på fodboldbanen (Pippas et al., 2024; Ishøi

& Thorborg, 2021). Det må derfor antages, at de mandlige fodboldspillere i det nævnte studie havde god erfaring med begge øvelser, hvilket understøtter hvorfor studiet viser en forøget ømhed på DST (Pippas et al., 2024). På trods af den velkendte betydning af høj maksimal styrke i lyskere regionen for fodboldspillere (Ishøi & Thorborg, 2021), blev øvelser med direkte overførbarhed til lysken ikke inkluderet i nærværende studie. Dette valg blev truffet på baggrund af, at en øget maksimal styrke i lysken ikke ville have væsentlig betydning for de udvalgte testparametre.

Det tyder derfor på, at forskellen på oplevelsen af ømhed mellem de to grupper kan skyldes graden af øvelsesfamiliaritet snarere end træningstypen alene. Derfor understøtter det vigtigheden i at tage højde for tidligere træningserfaring, når der implementeres nye træningsformer i en elitefodboldkontekst.

5.3 Styrker & Begrænsninger

5.3.1 RFD

For at undersøge, hvorvidt en træningsintervention med fokus på IST medfører betydningsfulde fysiologiske adaptationer hos fodboldspillere, vurderes det relevant at inkludere målinger af RFD. Evnen til hurtigt at generere høj og effektiv kraft anses som en af de mest centrale færdigheder for fodboldspillere, hvilket understreges i litteraturen (Hernández-Davó & Sabido, 2014). I den statistiske analyse blev Friedman-testen anvendt for at undersøge, om der var en main effect af tid på henholdsvis RFD200 (figur 8), RFD100 (figur 10) og RFD50 (figur 12). Resultaterne viste, at ingen af grupperne udviste en signifikant main effect af tid for hverken RFD200 (figur 8), RFD100 (figur 10) eller RFD50 (figur 12). Yderligere bliver der ingen between group effect RFD200 (figur 8), RFD100 (figur 10). Dog observeres en between group effect på Posttesten af RFD50 (figur 12).

Det tidligere nævnte review af Hernández-Davó & Sabido (2014) beskriver, at flere studier rapporterer forbedringer i RFD som følge af både power- og hypertrofitræning. Størstedelen af de inkluderede undersøgelser i reviewet finder dog signifikante forbedringer primært ved enten plyometrisk træning eller tung styrketræning. Det forekommer derfor bemærkelsesværdigt, at nærværende studie ikke observerer nogen signifikante main effects af tid fra Pre- til Posttest på RFD (figur 8, 10 og 12), særligt i betragtning af, at begge grupper havde fokus på at forbedre den maksimale styrke. Desuden blev der inkluderet plyometriske elementer i træningsprogrammet for DST-gruppen.

Hvis figur 8, 10 og 12 bliver undersøgt nærmere, observeres der dog en numerisk stigning for RFD fra Pre- og Midtest til Posttesten. Ved en nærmere analyse af data og de dertilhørende figurer kan det observeres, at testresultaterne for disse parametre udviser markante variationer. Særligt bemærkelsesværdigt er det at observere på figur 12b, hvor RFD-værdierne for én enkelt forsøgsdeltager falder markant fra ~7000 N/s (Pretest) til ~1200 N/s (Midtest). Udover dette forekommer der flere tilfælde, som indikerer, at datasættet for RFD kan indeholde fejl.

Et studie af Haff et al. (2015) undersøgte reliabiliteten af målinger for RFD ved IMTP. Studiet involverede 12 kvindelige volleyballspillere, som gennemførte to maksimale IMTP-forsøg. Resultaterne viste, at målinger af RFD med målingsintervaller på 30–250 ms kunne anses som pålidelige. Et nyere studie af Collings et al. (2024) undersøgte validiteten og reliabiliteten af VALD

ForceDecks, hvilket er det testudstyr, der blev anvendt til at indsamle RFD-data i nærværende studie. Collings et al. konkluderede, at VALD ForceDecks både er et validt og pålideligt værktøj til testning af kraftudvikling (Collings et al., 2024).

Derfor synes det interessant at nærværende studie stadig fremviser relative ændringer på $\sim -580\%$ (figur 12b), hvilket kan virke utroværdigt og fejlagtigt. Nærværende studies resultater ligger mellem $1425 - 2352 \pm 770 - 1987$ N/s. Hvor resultaterne fra Haff et al. (2015) er mellem $2260,2 - 2332,3 \pm 401,3 - 487$ N/s. Her observeres det, at resultaterne stemmer noget nær overens med Haff et al. (2015). Dog med en væsentligt højere standardafvigelse, hvilket kan indikere at deltagerne har udført testen forskelligt.

Haff et al. (2015) og Collings et al. (2024) beskriver at både tests og måleudstyr bør være valide og pålidelige. Derfor må de formodede fejl i data skyldes den komplekse karakter af IMTP-testen, der stiller betydelige krav til både testansvarlige og deltagere for at sikre en fuldstændig korrekt test gennemførelse (Comfort et al., 2019). Små variationer i testprocedurerne fra forsøg til forsøg kan derfor have bidraget til inkonsistente resultater.

5.3.2 Metodiske overvejelser omkring måling af ømhed

Det oprindelige studie havde til hensigt at anvende Rating of Perceived Exertion (RPE) efter hver træningssession med henblik på at vurdere anstrengelsesgraden forbundet med de to forskellige træningsformer. I dialog med *Head of Academy Strength & Conditioning* ved AaB forinden interventionens start, blev det imidlertid tydeligt, at dette ikke var praktisk gennemførligt grundet det betydelige tidspres, da spillerne umiddelbart efter styrketræningen skulle deltage i fodboldtræning.

Et review af Lum og Barbosa (2019) beskriver, at energikravet ved IST generelt er lavere end ved DST, formentlig pga. tidligere nævnte pointe fra Zondi et al. (2015). Her beskrives det, at ATP-forbruget er højere under dynamiske muskelkontraktioner end ved isometriske, hvilket dermed giver en øget risiko for ømhed. Samtidig beskriver reviewet, at det lavere energiforbrug ofte associeres med reduceret muskulær træthed, og dermed en nedsat grad af muskelømhed. Dog rapporteres det yderligere, at IST-gruppen har en længerevarende stimulering af musklerne, hvilket kan være medvirkende til det modsatte; et forøget mekanisk stress. Derfor kunne det have været relevant at dokumentere den subjektive vurdering af anstrengelsesgraden vha. RPE i forlængelse af træningssessionerne.

Yderligere bemærkes det at reviewet fra Lum og Barbosa (2019) konkluderer, at IST generelt har et lavere energikrav sammenlignet med DST. Dette bliver gjort ud fra tidligere studier, som har visse metodiske begrænsninger i forhold til denne konklusion.

Ét af de citerede studier af Beltman et al. (2004) undersøgte energiforbruget under muskelarbejde ved rotter, hvilket ikke altid kan sidestilles med mennesker. Et andet studie af Newham et al. (1995) undersøgte to varianter af IST – med lang versus kort kontraktionstid – og fandt, at kortere kontraktionstid var forbundet med et højere ATP-forbrug.

Der er således ingen af ovenstående studier, som pointen kommer fra, der entydigt konkluderer på udsagnet om, at energikravet er lavere ved IST frem for DST.

Derfor er det relevant at stille sig kritisk overfor reviewets konklusioner, og bør tages med til overvejelser, før der bliver truffet beslutninger på baggrund af reviewets anbefalinger.

Det skal desuden bemærkes, at forsøgsparticipanterne deltog i fodboldtræning umiddelbart efter styrketræningsinterventionen, hvilket potentielt kunne have påvirket graden af muskelømhed. En mere direkte undersøgelse af muskelenergiforbruget – eksempelvis ved laktatmålinger under eller umiddelbart efter træningen – kunne have tilført yderligere indsigt i energikravet af musklerne ved de forskellige træningsmetoder. Dette lod sig dog desværre ikke realisere inden for interventionens rammer.

På baggrund af ovenstående blev det vurderet, at den mest hensigtsmæssige tilgang i denne kontekst var at undersøge deltagerens subjektive oplevelse af muskelømhed, dagen efter træningen, som et indirekte mål for forskelle i belastning mellem de to træningsformer.

5.3.3 Adaptationer fra intervention eller fodboldtræning?

Som tidligere nævnt finder nærværende studie en main effect over tid på både PF, PF/kg og CMJ, men ingen signifikant interaktion mellem grupperne (figur 2, 4 og 6). Endvidere observeres ingen signifikante forskelle mellem grupperne i den sekundære dataanalyse vedrørende muskelømhed (figur 14). Dette er interessant, da det umiddelbart kan fortolkes som, at IST potentielt kan erstatte den ellers mest udbredte DST.

Dette fund er særligt bemærkelsesværdigt, da IST bør forårsage mindre muskulær udtrætning og ømhed, sammenlignet med DST (Pippas et al., 2024; Lum & Barbosa, 2019). Desuden anvendes IST ofte i rehabiliteringsforløb ved skader i fodbold og andre sportsgrene (Stefanska, 2025). Derfor

kunne det være relevant for sportsklubber at implementere IST, såfremt lignende træningsadaptationer opnås ved begge træningsformer.

For parametrene PF, PF/kg og CMJ (figur 2, 4 og 6) tyder det på, at både deltagerne i IST og DST har en lignende udvikling fra Pre- til Posttesten. Dog kan der sættes spørgsmålstegn ved, hvorvidt de observerede forbedringer, udelukkende kommer af træningsinterventionen, eller den store volumen af fodboldtræning, har bidraget til en fremgang i styrke hos forsøgsparticipanterne.

I denne kontekst ville en kontrolgruppe uden styrketræning i interventionsperioden have været ønskværdig for at kunne adskille effekten af styrketræningen fra den generelle træningsbelastning. Yderligere ville det have været relevant at forøge mængden af ugentlige styrketræningspas, da dette formentligt ville adskille de to træningstyper endnu mere, samt give et større træningsstimuli. Det var dog en forudsætning i samarbejdet med AaB, at alle deltagere modtog to ugentlige fysiske træninger, hvorfor en sådan kontrolgruppe ikke kunne inkluderes, såvel som en forøgelse af træningsvolumen ligeledes ikke var mulig.

5.3.4 Praktiske rammer

For interventionsstudier med fokus på IST, foregår træningssessionerne ofte i en isokinetisk dynamometer, hvor det er simpelt at træne deltagerne i netop den ønskede ledvinkler (Lum et al., 2021; Folland et al., 2004; Kubo et al., 2004).

På baggrund af de tilgængelige faciliteter på AaB's akademi var det ikke muligt at arbejde med denne præcision, hvorfor øvelsesvalget måtte tilpasses i de tilgængelige rammer (jf. afsnit 3.2.2). For at være så tidseffektive som muligt, blev der i IST benyttet så få vægte og maskiner som muligt, hvorimod der blev benyttet vægge og parøvelser som erstatning. Denne metode tilsidesatte den almene laboratoriekontrol, som oftest vil forekomme i denne type studier, men fremmer derimod den kontekstuelle og funktionelle relevans.

Et studie af Kubo et al. (2004) viste resultater på, at store ledvinkler ved IST ($>100^\circ$) ikke udelukkende forbedrer præstationen i den specifikke ledvinkel, men også i de omkringliggende ledvinkler (Kubo et al., 2004). I designfasen af øvelsesvalget blev det besluttet, at arbejde med større ledvinkler. Her var formodningen, at en forøgelse i de omkringliggende vinkler, ville resultere i en bedre sportsspecifik overførbarehed (Oranchuk et al., 2019; Kubo et al., 2004).

5.3.5 Arbejdsintensitet

Som beskrevet i metodeafsnittet, var målet med begge grupper at øge den maksimale styrke, hvorfor progressionen i begge grupper lå i spændet fra 3-6 gentagelser pr. sæt (figur 1). Deltagerne i DST-gruppen fik besked på at løfte så tungt som muligt og tilføje vægtskiver, hvis det var muligt at tage flere gentagelser end programmet anviste. Dette er den typiske tilgang i AaB, når der er fokus på tung styrketræning. Deltagerne i IST-gruppen skulle arbejde med så stor kraft som muligt, da de mest relevante adaptationer sker ved en arbejdsintensitet på 70-100% (Oranchuk et al., 2019).

Det var ikke muligt at måle deltagernes 1RM i de dynamiske øvelser, hvorfor det aldrig var muligt at forsikre om, at deltagerne løftede så tungt som muligt, hvilket var målet med træningen.

Derudover var det ikke muligt at få værdier på IST-gruppens arbejdsintensitet i øvelserne. Det kunne dog have været interessant at monitorere den eksakte belastning, for at kunne facilitere en så stor udvikling som muligt. Det havde været interessant, at undersøge om dette havde resulteret en interaktion mellem grupperne, hvis deltagernes arbejdsintensitet i højere grad kunne være sikret.

Her havde det været relevant at anvende et isokinetisk dynamometer, for at kunne give feedback på data herfra, eller hvis tidsaspektet var til det, ville et lettere tilgængeligt alternativ være, at anvende RPE efter træningen, som beskrevet i tidligere afsnit (jf afsnit 5.3.2).

6. Perspektivering

6.1 Praktisk anvendelighed

6.1.1 Anbefalinger til ømhed

DST og plyometrisk træning er, som tidligere beskrevet, de mest anvendte metoder i fysisk træning af fodboldspillere. Dette skyldes formentlig de vel dokumenterede effekter på muskulære adaptationer, som er overførbare til sportsspecifikke færdigheder. Desuden kræver disse træningsformer typisk begrænsede ressourcer og udstyr, hvilket gør dem let tilgængelige i en praktisk kontekst. Nærværende studie dokumenterer imidlertid tilsvarende præstationsfremmende effekter ved anvendelse af IST. Flere studier viser at der kan være mulighed for, at IST er mindre energikrævende, sammenlignet med DST (Zondi et al., 2015; Lum & Barbosa, 2019; Pippas et al., 2024). Netop dette bør gøre denne metode attraktiv at benytte af fodboldspillere. Her skal det bemærkes, at ømheden for de to interventionsgrupper i nærværende studie hverken er forskellige, eller ændrer sig over tid (figur 14). Dog er selve volumen heller ikke helt ens for de to grupper på grund af forskelle i varighed på den muskulære aktivering mellem grupperne (jf. afsnit 3.2.2).

6.1.2 Anbefalinger til PACES

Nærværende studie anvendte PACES til at undersøge, om graden af træningstilfredshed varierede mellem grupperne. Så vidt vides er dette ikke tidligere blevet undersøgt i relation til disse træningsformer hos netop denne specifikke målgruppe.

Analyserne viste ingen signifikant main effect af hverken tid eller gruppe. De gennemsnitlige PACES-score var henholdsvis $3,49 \pm 0,22$ for IST og $3,42 \pm 0,45$ for DST efter fire uger, og $3,44 \pm 0,29$ for IST og $3,21 \pm 0,49$ for DST efter otte uger (Se bilag 2). Selvom der ikke blev observeret statistisk signifikante forskelle over tid, viste DST-gruppen en tendens til faldende træningstilfredshed fra uge fire til uge otte. Dette kan muligvis indikere, at DST-gruppens træningsprogram hurtigere blev oplevet utilfredsstillende. Det skal dog understreges, at dette ikke er videnskabeligt bevist, og yderligere undersøgelser over en længere periode er nødvendige, for at kunne drage en sikker konklusion.

Resultaterne fra nærværende studie viser ingen tegn på faldende træningstilfredshed i IST-gruppen, hvilket understøtter antagelsen om, at IST kan anvendes på lige fod med DST, uden negativ indvirkning på spillernes oplevede motivation.

6.1.3 anbefalinger til træningsplanlægning

Typisk består isometriske øvelser af fastlagte kontraktions- og pauseintervaller mellem gentagelser, hvilket kan være udfordrende i forhold til den ofte tidsbegrænsede fysiske træning i eliteungdomsfodbold. Derfor vil en sidste anbefaling være, at anvende den “rullende tid”, som blev benyttet i nærværende studie. Denne metode muliggør udførelse af samme antal gentagelser som ved DST og plyometrisk træning, men med en god tilpasning til en tidspresst hverdag, som præger fodboldklubberne.

7. Konklusion

På baggrund af problemanalysen og det dertilhørende videnshul blev følgende problemformulering udarbejdet.

Hvordan påvirker isometrisk (IST) versus dynamisk styrketræning (DST) præstationsparametrene fra Isometric Mid-Thigh Pull (IMTP) og Countermovement Jump (CMJ) og den oplevede muskelømheden i løbet af otte uger hos U15 elitefodboldspillere?

Det konkluderes, at en otte ugers interventionsperiode med to ugentlige træningspas er tilstrækkelig til at fremkalde forbedringer i IMTP og CMJ hos både IST- og DST-gruppen.

Samtidig kan det ikke med sikkerhed fastslås, om de observerede forbedringer udelukkende skyldes interventionen, eller om den store ugentlige volumen af fodboldtræning, potentielt har haft indflydelse på resultaterne.

Derudover blev der ikke identificeret signifikante ændringer af den oplevede muskelømheden, hverken over tid eller mellem grupperne.

Disse fund indikerer at fysiske trænere kan benytte IST i samme omfang som DST. Dog vil det være relevant med yderligere undersøgelser over længere perioder, for at få tydeligere resultater på både testene, men også ømheden.

8. Litteraturliste

- Bangsbo, J. (2014). Physiological demands of football.27, 1–6. Retrieved from <https://www.gssiweb.org/sports-science-exchange/article/sse-125-physiological-demands-of-football>
- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., & Bradley, P. S. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the english premier league. *International Journal of Sports Medicine*, 35(13), 1095–1100. doi:10.1055/s-0034-1375695
- Beltman, J. G. M., Van Der Vliet, M. R., Sargeant, A. J., & De Haan, A. (2004). Metabolic cost of lengthening, isometric and shortening contractions in maximally stimulated rat skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 182(2), 179–187. doi:10.1111/j.1365-201X.2004.01338.x
- Bimson, L., Langdown, L., Fisher, J. P., & Steele, J. (2017). Six weeks of knee extensor isometric training improves soccer related skills in female soccer players. *Journal of Trainology*, 6(2), 52–56. doi:10.17338/trainology.6.2_52
- Boyd, M. P., & Yin, Z. (1996). Cognitive-affective sources of sport enjoyment in adolescent sport participants. *Adolescence*, 31(122), 383–395. Retrieved from <http://eric.ed.gov/ERICWebPortal/detail?accno=EJ528978>
- Carolan, B., & Cafarelli, E. (1992). Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 73(3), 911–917. doi:10.1152/jappl.1992.73.3.911
- Cheung, K., Hume, P. A., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness. *Sports Medicine (Auckland)*, 33(2), 145–164. doi:10.2165/00007256-200333020-00005
- Clubb, J. Force plates 101: What are they and why are they used? Retrieved from <https://valdperformance.com/news/force-plates-101-what-are-they-and-why-are-they-used>
- Collings, T. J., Lima, Y. L., Dutailis, B., & Bourne, M. N. (2024). Concurrent validity and test–retest reliability of VALD ForceDecks' strength, balance, and movement assessment tests. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 27(8), 572–580. doi:10.1016/j.jsams.2024.04.014
- Comfort, P., Dos'Santos, T., Beckham, G. K., Stone, M. H., Guppy, S. N., & Haff, G. G. (2019). Standardization and methodological considerations for the isometric midthigh pull. *Strength & Conditioning Journal*, 41(2), 57–79. doi:10.1519/ssc.0000000000000433

- da Silva, J. B., Lima, V. P., Paz, G. A., de Oliveira, C. R., D'urso, F., Moreira Nunes, R. d. A., . . . de Souza Vale, R. G. (2016). Determination and comparison of time under tension required to perform 8, 10 and 12-RM loads in the bench press exercise. *Biomedical Human Kinetics*, 8(1), 153–158. doi:10.1515/bhk-2016-0022
- Folland, J. P., Hawker, K., Leach, B., Little, T., & Jones, D. A. (2005). Strength training: Isometric training at a range of joint angles versus dynamic training. *Journal of Sports Sciences*, 23(8), 817–824. doi:10.1080/02640410400021783
- Gellman, M. D. (2020). *Encyclopedia of behavioral medicine* (Second edition ed.). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-39903-0 Retrieved from <https://library.biblioboard.com/viewer/40ba6a20-1aa6-11eb-8258-0ab114b4f10d>
- Gheller, R. G., Dal Pupo, J., Lima, L. A. P. d., Moura, B. M. d., & Santos, S. G. d. (2014). Effect of squat depth on performance and biomechanical parameters of countermovement vertical jump. *Revista Brasileira De Cineantropometria & Desempenho Humano*, 16(6), 658–668. doi:10.5007/1980-0037.2014v16n6p658
- Haff, G. G., Ruben, R. P., Lider, J., Twine, C., & Cormie, P. (2015). A comparison of methods for determining the rate of force development during isometric midthigh clean pulls. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(2), 386–395. doi:10.1519/jsc.0000000000000705
- Haugen, T., Tønnessen, E., Hisdal, J., & Seiler, S. (2014). The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 432–441. doi:10.1123/ijsp.2013-0121
- Ishøi, L., & Thorborg, K. (2021). Copenhagen adduction exercise can increase eccentric strength and mitigate the risk of groin problems: But how much is enough. *British Journal of Sports Medicine*, 55(19), 1066–1067. doi:10.1136/bjsports-2020-103564
- Jose Luis Hernández-Davó, & Rafael Sabido. (2014). Rate of force development: Reliability, improvements and influence on performance. A review. *European Journal of Human Movement*, 33 Retrieved from <https://doaj.org/article/c08dbb812e8e453a8c87808a8dfdc0a3>
- Kirkwood, B. R., & Sterne, J. (2003). *Essential medical statistics* Blackwell Scientific Publications. Retrieved from <https://researchonline.lshtm.ac.uk/id/eprint/15237/>

- Kozieł, S. M., Suder, A., Chrzanowska, M., Králik, M., & Malina, R. M. (2024). Growth status and age at peak height velocity among youth participants in several sports: The cracow longitudinal study. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, 16(1), 121–11. doi:10.1186/s13102-024-00905-6
- Kubo, K., Ohgo, K., Takeishi, R., Yoshinaga, K., Tsunoda, N., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2006). Effects of isometric training at different knee angles on the muscle-tendon complex in vivo. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(3), 159–167. doi:10.1111/j.1600-0838.2005.00450.x
- Kubo, K., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2001). Effects of different duration isometric contractions on tendon elasticity in human quadriceps muscles. *The Journal of Physiology*, 536(2), 649–655. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.0649c.xd
- Lago-Peñas, C., Lorenzo-Martinez, M., López-Del Campo, R., Resta, R., & Rey, E. (2023). Evolution of physical and technical parameters in the spanish LaLiga 2012-2019. *Science and Medicine in Football*, 7(1), 41–46. doi:10.1080/24733938.2022.2049980
- Lum, D., & Barbosa, T. M. (2019). Brief review: Effects of isometric strength training on strength and dynamic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 40(6), 363–375. doi:10.1055/a-0863-4539
- Lum, D., Barbosa, T. M., Joseph, R., & Balasekaran, G. (2021). Effects of two isometric strength training methods on jump and sprint performances: A randomized controlled trial. *Journal of Science in Sport and Exercise (Online)*, 5(1), 115–124. doi:10.1007/s42978-020-00095-w
- Lum, D., Comfort, P., Barbosa, T. M., & Balasekaran, G. (2022). Comparing the effects of plyometric and isometric strength training on dynamic and isometric force-time characteristics. *Biology of Sport*, 39(1), 187–197. doi:10.5114/BIOLSPORT.2022.103575
- Markovic, G. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*, 41(6), 349–355. doi:10.1136/bjsm.2007.035113
- Mcguigan, M. R., Newton, M. J., Winchester, J. B., & Nelson, A. G. (2010). Relationship between isometric and dynamic strength in recreationally trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2570–2573. doi:10.1519/jsc.0b013e3181ecd381

- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., Bailey, D. A. & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(4), 689–694. doi:10.1097/00005768-200204000-00020
- Moore, J. B., Yin, Z., Hanes, J., Duda, J., Gutin, B., & Barbeau, P. (2009). Measuring enjoyment of physical activity in children: Validation of the physical activity enjoyment scale. *Journal of Applied Sport Psychology*, 21(sup1), S116–S129. doi:10.1080/10413200802593612
- Moran, J., Sandercock, G. R. H., Ramírez-Campillo, R., Meylan, C., Collison, J., & Parry, D. A. (2017). A meta-analysis of maturation-related variation in adolescent boy athletes' adaptations to short-term resistance training. *Journal of Sports Sciences*, 35(11), 1041–1051. doi:10.1080/02640414.2016.1209306
- Newham, D. J., Jones, D. A., Turner, D. L., & McIntyre, D. (1995). The metabolic costs of different types of contractile activity of the human adductor pollicis muscle. *The Journal of Physiology*, 488(Pt 3), 815–819. doi:10.1113/jphysiol.1995.sp021013
- Noorkõiv, M., Nosaka, K., & Blazevich, A. J. (2014). Neuromuscular adaptations associated with knee joint angle-specific force change. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(8), 1525–1537. doi:10.1249/MSS.0000000000000269
- Ntoumanis, N. (2002). Motivational clusters in a sample of british physical education classes. *Psychology of Sport and Exercise*, 3(3), 177–194. doi:10.1016/S1469-0292(01)00020-6
- Oranchuk, D. J., Storey, A. G., Nelson, A. R., & Cronin, J. B. (2019). Isometric training and long-term adaptations: Effects of muscle length, intensity, and intent: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(4), 484–503. doi:10.1111/sms.13375
- Peña-González, I., Fernández-Fernández, J., Cervelló, E., & Moya-Ramón, M. (2019). Effect of biological maturation on strength-related adaptations in young soccer players. *PloS One*, 14(7), e0219355. doi:10.1371/journal.pone.0219355
- Pippas, C., Gioftsos, G., Korakakis, V., & Serner, A. (2024). Strength effects of the copenhagen adduction exercise vs an adductor squeeze exercise in male football players – A randomized controlled trial. *Science and Medicine in Football*, , 1–10. doi:10.1080/24733938.2024.2419659

- Rovniak, L. S., Anderson, E. S., Winett, R. A., & Stephens, R. S. (2002). Social cognitive determinants of physical activity in young adults: A prospective structural equation analysis. *Annals of Behavioral Medicine*, 24(2), 149–156. doi:10.1207/s15324796abm2402_12
- Sáez-Sáez de Villarreal, E., Requena, B., & Newton, R. U. (2010). Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 513–522. doi:10.1016/j.jsams.2009.08.005
- Schott, J., McCully, K., & Rutherford, O. M. (1995). The role of metabolites in strength training. II: Short versus long isometric contractions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 71(4), 337–341. doi:10.1007/BF00240414
- Słomka, K. J., Sobota, G., Skowronek, T., Rzepko, M., Czarny, W., & Juras, G. (2017). Evaluation of reliability and concurrent validity of two optoelectric systems used for recording maximum vertical jumping performance versus the gold standard. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 19(2), 141–147. doi:10.5277/ABB-00572-2016-05
- Staiano, W., Bonet, L. R. S., Romagnoli, M., & Ring, C. (2023). Mental fatigue: The cost of cognitive loading on weight lifting, resistance training, and cycling performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 18(5), 465–473. doi:10.1123/ijsp.2022-0356
- Stefanska, O. J. J. M. (2025). Impact of isometric exercise on pain management in acute and chronic sports injuries: A systematic review. *Khatulistiwa Journal of Exercise Therapy and Rehabilitation*, Retrieved from <https://journals.khatec.id/index.php/khater/article/view/9>
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer : An update. *Sports Medicine (Auckland)*, 35(6), 501–536. doi:10.2165/00007256-200535060-00004
- Støren, Ø, Helgerud, J., Støa, E. M., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(6), 1087–1092. doi:10.1249/MSS.0b013e318168da2f
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., & Stone, M. H. (2018). The importance of muscular strength: Training considerations. *Sports Medicine*, 48(4), 765–785. doi:10.1007/s40279-018-0862-z
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419–1449. doi:10.1007/s40279-016-0486-0

- Tillin, N. A., & Folland, J. P. (2014). Maximal and explosive strength training elicit distinct neuromuscular adaptations, specific to the training stimulus. *European Journal of Applied Physiology*, 114(2), 365–374. doi:10.1007/s00421-013-2781-x
- Turner, A. N., & Stewart, P. F. (2014). Strength and conditioning for soccer players. *Strength and Conditioning Journal*, 36(4), 1–13. doi:10.1519/SSC.0000000000000054
- Ullrich, B., Kleinöder, H., & Brüggemann, G. P. (2009). Moment-angle relations after specific exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 30(4), 293–301. doi:10.1055/s-0028-1104589
- Wang, R., Hoffman, J. R., Tanigawa, S., Miramonti, A. A., La Monica, M. B., Beyer, K. S., . . . Stout, J. R. (2016). Isometric mid-thigh pull correlates with strength, sprint, and agility performance in collegiate rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(11), 3051–3056. doi:10.1519/JSC.0000000000001416
- Yang, Y., Ding, X., Gong, Y., Liu, Q., Shi, S., & Xu, M. (2024). Isometric exercise for knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Asian Journal of Surgery*, doi:10.1016/j.asjsur.2024.11.179
- Zondi, P. C., Janse van Rensburg, D. C., Grant, C. C., & Jansen van Rensburg, A. (2015). Delayed onset muscle soreness: No pain, no gain? the truth behind this adage. *South African Family Practice*, 57(3), 3. doi:10.4102/safp.v57i3.4148