

Efektivitas Program Neuromuscular Five terhadap Kekuatan Otot Tungkai pada Pemain Sepak Bola Usia 17 Tahun: Uji Coba Teracak Dua Lengan di Klub Komunitas

¹Samsul Hermawan, ^{2*}Dadang Warta Chanra Wira Kesumah, ³Nurtajudin, ⁴Suwarli

^{1,2,3} Department of Sport and Health Education, Faculty of Sports Science and Public Health, Universitas Pendidikan Mandalika. Jl. Pemuda No. 59A, Mataram, Indonesia. Postal code: 83125

⁴ Department of Physical Education, Universitas Lampung. Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, Indonesia. Postal Code: 35145.

*Corresponding Author e-mail: dadang@undikma.ac.id

Received: June 2025; Revised: July 2025; Published: August 2025

Abstrak

Latar belakang: Pelatihan neuromuskular (NMT) diperkirakan meningkatkan kekuatan tungkai melalui adaptasi saraf – peningkatan rekrutmen unit motor, efisiensi *stretch-shortening cycle* (SSC), dan koordinasi inter-/intramuskular – sebelum kontribusi hipertrofi mendominasi. Tujuan: Mengevaluasi efektivitas program *Neuromuscular Five* (NMT-5) terhadap kekuatan otot tungkai pada pemain sepak bola usia 17 tahun di klub komunitas. Metode: Uji coba teracak dua lengan (1:1) dengan alokasi tersembunyi dan penilai sebisa mungkin dibutakan. Dua kelompok (N=26; intervensi=13, kontrol=13) mengikuti program latihan masing-masing dengan frekuensi setara. *Outcome* utama adalah kekuatan isometrik tungkai (kg) menggunakan *leg dynamometer* terstandar. Analisis prasyarat normalitas terpenuhi; uji t berpasangan digunakan untuk perubahan dalam-kelompok, dan uji t tidak berpasangan untuk perbandingan antar-kelompok. Hasil: Kelompok intervensi meningkat dari 105,88±16,48 kg menjadi 125,07±17,60 kg ($\Delta=+19,19$ kg; 95%CI [+17,82; +20,56]; $p<0,001$). Kelompok kontrol meningkat dari 107,88±13,14 kg menjadi 112,69±12,85 kg ($\Delta=+4,81$ kg; 95%CI [+3,32; +6,30]; $p<0,001$). Perbedaan rerata post-test antar-kelompok sebesar +12,38 kg cenderung mendukung intervensi namun belum signifikan pada $\alpha=0,05$ ($p=0,052$; 95%CI [-0,09; +24,86]). Kesimpulan: NMT-5 menghasilkan peningkatan dalam-kelompok yang besar dan bermakna pada kekuatan tungkai remaja, dengan arah efek antar-kelompok yang menjanjikan. Studi lanjutan dengan sampel lebih besar dan analisis utama ANCOVA dianjurkan untuk memperkuat inferensi kausal serta menilai kontribusi relatif adaptasi saraf dan hipertrofi.

Kata Kunci: pelatihan neuromuskular; kekuatan otot tungkai; sepak bola remaja; *leg dynamometer*; *stretch-shortening cycle*

Effectiveness of a Neuromuscular Five Program on Lower-Limb Strength in 17-Year-Old Soccer Players: A Two-Arm Randomized Trial in a Community Club

Abstract

Background: Neuromuscular training (NMT) is expected to improve lower-limb strength primarily via neural adaptations – enhanced motor-unit recruitment, improved stretch-shortening cycle (SSC) efficiency, and better inter-/intramuscular coordination – before hypertrophy contributes substantially. *Objective:* To evaluate the effectiveness of a Neuromuscular Five (NMT-5) program on lower-limb strength in 17-year-old community-club soccer players. *Methods:* Two-arm randomized trial (1:1) with concealed allocation and assessor blinding where feasible. Two groups (N=26; intervention=13, control=13) trained with matched session frequency. The primary outcome was isometric lower-limb strength (kg) assessed with a standardized leg dynamometer. Normality assumptions were met; paired t-tests assessed within-group change and independent t-tests compared groups at

post-test. Results: The intervention group increased from 105.88 ± 16.48 kg to 125.07 ± 17.60 kg ($\Delta = +19.19$ kg; 95%CI [+17.82; +20.56]; $p < 0.001$). The control group increased from 107.88 ± 13.14 kg to 112.69 ± 12.85 kg ($\Delta = +4.81$ kg; 95%CI [+3.32; +6.30]; $p < 0.001$). The between-group post-test mean difference was +12.38 kg, favoring the intervention but not statistically significant at $\alpha = 0.05$ ($p = 0.052$; 95%CI [-0.09; +24.86]). Conclusions: NMT-5 produced large, statistically significant within-group gains in lower-limb strength among adolescent players, with a promising but non-significant between-group trend. Future studies should increase sample size and adopt ANCOVA as the primary analysis to strengthen causal inference and disentangle neural versus hypertrophic contributions.

Keywords: Neuromuscular training; lower-limb strength; youth soccer; leg dynamometer; stretch-shortening cycle

How to Cite: Hermawan, S., Kesumah, D. W. C. W., Nurtajudin, N., & Suwarli, S. (2025). Efektivitas Program Neuromuscular Five terhadap Kekuatan Otot Tungkai pada Pemain Sepak Bola Usia 17 Tahun: Uji Coba Teracak Dua Lengan di Klub Komunitas. *Discourse of Physical Education*, 4(2), 129–144. <https://doi.org/10.36312/dpe.v4i2.3648>



<https://doi.org/10.36312/dpe.v4i2.3648>

Copyright© 2025, Hermawan et al

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) License.



PENDAHULUAN

Sepak bola menuntut penguasaan teknik dasar—*passing*, *dribbling*, *heading*, *shooting*—yang didukung kapasitas fisik spesifik. Dalam konteks menendang (*shooting*), perlu dibedakan antara kekuatan otot (*strength*)—kemampuan menghasilkan gaya maksimal—dan daya ledak (*power*)—kekuatan yang diwujudkan dengan kecepatan tinggi. Untuk meningkatkan performa tungkai bawah secara terarah, neuromuscular training (NMT) banyak digunakan karena menargetkan adaptasi saraf-otot yang meningkatkan keluaran gaya serta kontrol gerak.

Secara teoritis dan empiris, NMT meningkatkan kekuatan tungkai melalui tiga jalur utama: (i) rekrutmen unit motor, (ii) efisiensi *stretch-shortening cycle* (SSC), dan (iii) koordinasi inter-/intramuskular. Tinjauan sistematis dan uji acak terkini menunjukkan bahwa adaptasi neuromuskular tersebut berkorelasi dengan perbaikan performa fisik (Ho et al., 2019; Ayers et al., 2016; Vega et al., 2024; Williams et al., 2022). Peningkatan aktivitas EMG dan penggerakan unit motor ambang-tinggi setelah latihan resistensi/pliometrik turut memperkuat hubungan antara adaptasi saraf dan kenaikan *strength* (Đorđević et al., 2025; Fioco et al., 2025; Zen et al., 2021; Schagemann et al., 2021).

Latihan resistensi progresif dan pliometrik dapat meningkatkan sinkronisasi dan laju tembakan unit motor sehingga efisiensi produksi gaya membaik—relevan bagi tugas dinamis seperti lompatan, sprint, dan tendangan (Ho et al., 2019; Ayers et al., 2016; Vega et al., 2024; Williams et al., 2022). Peningkatan aktivitas EMG pada otot penopang gerak setelah intervensi mengindikasikan dorongan neuromuskular yang lebih tinggi (Đorđević et al., 2025; Fioco et al., 2025; Zen et al., 2021; Schagemann et al., 2021).

Pliometrik dan latihan berbasis SSC meningkatkan pemanfaatan energi elastik serta *pre-activation*, yang berkontribusi pada kenaikan kekuatan dan daya ledak tungkai (Zen et al., 2021; Ayers et al., 2016; Srinivasan et al., 2015; Ho et al., 2019; Vega et al., 2024). Peningkatan efisiensi SSC kerap disertai koordinasi antarkelompok otot yang lebih baik (Achenbach et al., 2021; Fioco et al., 2025; Vaithanomsat et al., 2025).

Program NMT yang dipersonalisasi terbukti meningkatkan pola aktivasi dan timing antar otot sinergis serta distribusi gaya pada tingkat sendi, sehingga gerak lebih efisien dan *strength* fungsional meningkat (Ayers et al., 2016; Schilaty et al., 2022; Vaithanomsat et al., 2025; Dideriksen et al., 2016). Komponen proprioseptif dalam NMT juga berasosiasi dengan fungsi tungkai yang lebih baik dan risiko cedera yang lebih rendah, terutama pada tugas perubahan arah cepat (Ayers et al., 2016; Klawitter et al., 2023; Đorđević et al., 2025; Chang et al., 2021).

Meskipun bukti efektivitas NMT/pliometrik kian kuat, remaja/pelatih pubertas relatif kurang terwakili dalam intervensi, sementara banyak studi menitikberatkan atlet elit atau populasi dewasa (Kons et al., 2023). Selain itu, dosis latihan yang optimal (frekuensi, volume, progresi) bagi atlet pubertas belum terdokumentasi secara konsisten dan masih meminjam pedoman orang dewasa (Abed et al., 2019). Penelitian di setting komunitas/klub amatir juga lebih jarang dibanding fasilitas elit, sehingga temuan kerap sulit digeneralisasi ke konteks pembinaan remaja di klub lokal.

Dalam praktik klub, konsep “Neuromuscular Five” –yang mencakup penguatan, pliometrik, keseimbangan, kelincahan, dan koordinasi–menawarkan kerangka intervensi yang ringkas dan aplikatif. Namun, bukti pada remaja di lingkungan klub amatir dengan pembanding latihan rutin terstandar masih perlu diperkaya agar rekomendasi latihan lebih kontekstual. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas *Neuromuscular Five* terhadap peningkatan kekuatan otot tungkai (*strength*) pada pemain sepak bola remaja dalam setting klub komunitas, dibanding latihan rutin klub. *Neuromuscular Five* akan menghasilkan peningkatan kekuatan otot tungkai yang lebih besar daripada latihan rutin, melalui mekanisme rekrutmen unit motor yang lebih efisien, peningkatan efisiensi SSC, serta perbaikan koordinasi inter-/intramuskular (Ho et al., 2019; Ayers et al., 2016; Zen et al., 2021; Vega et al., 2024; Schilaty et al., 2022).

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan uji coba teracak dengan desain pretest–posttest pada pemain sepak bola usia 17 tahun di tingkat klub komunitas. Desain ini dipilih untuk memprediksi efek kausal intervensi Neuromuscular Five (NMT-5) terhadap kekuatan otot tungkai dengan membandingkannya terhadap kontrol aktif yang memiliki volume dan frekuensi latihan setara. Perangkat desain mengikuti praktik baik uji teracak, termasuk definisi *outcome* primer, prosedur alokasi tersembunyi, serta pembutaan penilai sejauh memungkinkan pada konteks lapangan, mengacu pada implementasi acak dan pelaporan metodologi yang ketat dalam sepak bola usia dini (Hilska et al., 2021). Protokol penelitian diregistrasi dan didokumentasikan secara transparan, dan pelaksanaan mematuhi prinsip etika penelitian. Persetujuan etik diperoleh dari Komite Etik Universitas, dan seluruh peserta –serta orang tua/wali mengingat usia 17 tahun–memberikan *informed consent* tertulis sebelum pengambilan data. Mengingat karakteristik populasi remaja, kriteria keselamatan ditetapkan dengan ketat dan setiap sesi diawasi oleh pelatih bersertifikat; *adverse events* dipantau secara prospektif sepanjang periode intervensi. Rasional ilmiah intervensi bersandar pada bukti mekanistik bahwa NMT meningkatkan rekrutmen unit motor, efisiensi *stretch–shortening cycle* (SSC), dan koordinasi inter-

/intramuskular—mekanisme yang relevan bagi penguatan tungkai pada tugas menendang dan percepatan. Penetapan *timeline* intervensi (8 minggu), intensitas, serta pengendalian faktor perancu antarsesi dirancang agar sesuai dengan praktik klub komunitas tanpa mengorbankan integritas internal uji coba. Keputusan desain ini sekaligus menyeimbangkan validitas internal dengan keterterapan program di dunia nyata, sehingga hasil lebih mudah diadopsi oleh pelatih dan organisasi pembinaan usia muda.

Populasi dan Sampel

Peserta direkrut dari klub sepak bola remaja dengan kriteria inklusi: laki-laki usia 17 tahun; terdaftar aktif minimal 1 tahun; bebas cedera akut/kronik dalam 3 bulan terakhir; dan dinyatakan layak latihan oleh petugas kesehatan. Eksklusi: riwayat penyakit muskuloskeletal/neurologis yang membatasi latihan; penggunaan obat yang memengaruhi performa neuromuskular; dan ketidakmampuan mengikuti $\geq 80\%$ sesi. Untuk memperkecil *confounding*, riwayat beban latihan, usia latihan (*training age*), serta indikator kebugaran awal dicatat sebelum alokasi (Soomro et al., 2016; Sun et al., 2024). Perhitungan ukuran sampel a priori dilakukan menggunakan perkiraan *standardized mean difference* ($\approx 0,75$; efek sedang-moderate) dari meta-analisis pliometrik pada remaja/atlet muda (Ramírez-Campillo et al., 2023), dengan $\alpha = 0,05$ dan *power* 0,80. Perhitungan ini memberikan estimasi kebutuhan minimal sekitar 13 peserta per kelompok untuk mendeteksi perbedaan antar-kelompok yang bermakna secara statistik pada *outcome* kekuatan. Rekrutmen dilakukan bertahap melalui pengumuman klub dan *briefing* orang tua/wali; calon peserta disaring menggunakan kuesioner cedera/riwayat latihan dan pemeriksaan singkat fungsional tungkai. Diagram alir peserta (pendaftaran—pemeriksaan kelayakan—alokasi—tindak lanjut—analisis) disusun untuk transparansi pelaporan. Mengingat dinamika kehadiran remaja di klub, strategi retensi mencakup penjadwalan fleksibel (tetap tiga sesi/minggu) dan komunikasi berjadwal dengan orang tua/wali. Strategi ini berupaya mempertahankan *power* aktual studi dengan meminimalkan *attrition*, sekaligus menjaga generalisasi temuan ke setting komunitas yang lazim menghadapi variasi kehadiran.

Instrumen Penelitian

Outcome primer adalah kekuatan isometrik tungkai bawah (kg) yang diukur menggunakan *leg dynamometer* dengan posisi dan sudut sendi distandarkan. Validitas reliabilitas dinamometri pada populasi atlet didukung oleh bukti ICC tinggi ($\approx 0,88-0,94$), menandakan konsistensi yang baik antar pengukuran (Hedayatpour et al., 2017). Selain itu, studi uji-ulang pada penilaian kekuatan/tenaga menunjukkan reliabilitas test-retest yang kuat (Venegas-Carro et al., 2022), memperkuat keandalan protokol ini untuk mendeteksi perubahan nyata akibat intervensi. Untuk memberikan konteks interpretasi, data normatif usia/jenis kelamin pada pemain sepak bola remaja digunakan sebagai pembanding eksternal, dengan kehati-hatian terhadap perbedaan alat/posisi (Ferreira et al., 2021). Merk/model alat, prosedur kalibrasi, dan jadwal pemeliharaan dicatat dalam *calibration log* sebelum dan selama studi. Penilai dilatih terlebih dahulu untuk menstandarisasi instruksi, penempatan sabuk/pegangan, dan *cueing*. Selain *outcome* primer, variabel pendukung (misalnya berat badan/tinggi badan untuk normalisasi, dominansi tungkai) dicatat untuk analisis eksploratori.

Dengan penetapan *outcome* dan instrumen yang andal, studi ini berupaya meminimalkan kesalahan pengukuran dan meningkatkan signal-to-noise ratio sehingga perubahan pra-pasca yang terdeteksi lebih dapat dikaitkan dengan paparan NMT-5 ketimbang variasi prosedural atau artefak alat.

Prosedur Pengukuran

Seluruh pengukuran dilaksanakan pada waktu hari yang konsisten (pagi) untuk mengurangi variabilitas sirkadian performa (García-Valverde et al., 2021). Sebelum pengukuran, peserta menjalani pemanasan baku 10–15 menit yang mencakup aktivasi otot penopang, mobilitas sendi, dan *rehearsal* gerak spesifik. Peserta diminta menghindari aktivitas berat 24–48 jam sebelumnya dan mempertahankan kebiasaan tidur/hidrasi yang seragam. Posisi uji (sudut lutut/pangkal paha), instruksi kontraksi, serta dorongan motivasional distandarkan dengan *script* penilai untuk mengurangi bias *rater*. Setiap peserta melakukan ≥ 3 ulangan dengan istirahat yang cukup antaruji; nilai rata-rata digunakan sebagai skor utama untuk meningkatkan stabilitas estimasi dan mengurangi pengaruh *outlier* tunggal (Duggan et al., 2023). Dominansi tungkai dicatat; bila relevan, nilai kiri/kanan dihitung rata-ratanya atau dianalisis terpisah secara eksploratori. Penilai dibutakan terhadap status kelompok dan urutan peserta diacak per hari untuk mencegah *order effect*. Kondisi lingkungan (suhu, permukaan lantai, kebisingan) dijaga konstan. Prosedur penanganan deviasi (misalnya ketidakhadiran, ketidaknyamanan akut) ditetapkan a priori: pengukuran diulang dalam 72 jam bila syarat pemulihan terpenuhi. Seluruh langkah terdokumentasi dalam *operation manual* sehingga protokol dapat direplikasi dan diaudit, sekaligus memfasilitasi transfer pengetahuan ke klub komunitas lain.

Pengumpulan Data

Data dikumpulkan menggunakan *case report forms* terstruktur dan entri ganda ke basis data terlindungi sandi. Kepatuhan intervensi dipantau melalui *training logs* (hadir/tidak hadir, set×reps, RPE/tingkat kesulitan tugas) dan ditinjau mingguan; umpan balik singkat diberikan untuk menangani hambatan kehadiran (Howell et al., 2022). *Adverse events* dicatat secara prospektif dengan algoritme eskalasi klinis yang disepakati. Untuk menjaga integritas analitik, studi menerapkan prinsip intention-to-treat, dengan multiple imputation untuk menangani data hilang acak (*missing at random*) agar *power* dan keakuratan estimasi tidak menurun (Hernández-Martínez et al., 2023). Audit jejak perubahan (*audit trail*) menyimpan histori koreksi data. Kontrol kualitas berkala (rentang nilai, deteksi *outlier*, dan *logic checks*) diterapkan sebelum *locking* data. Akses data dibatasi berdasarkan peran; berkas identitas dipisahkan dari berkas analisis untuk menjaga kerahasiaan. Setelah publikasi, data teranonimisasi dan *analysis code* dapat tersedia atas permintaan sesuai kebijakan institusi guna meningkatkan replikasi dan keterbukaan ilmiah. Semua prosedur ini dirancang agar sesuai dengan praktik terbaik manajemen data penelitian olahraga remaja, sekaligus tetap realistis diterapkan di lingkungan klub komunitas yang memiliki sumber daya terbatas.

Analisis Data

Analisis utama menetapkan $\alpha=0,05$ dan memeriksa asumsi parametrik sebelum pengujian. Jika terpenuhi, digunakan ANCOVA dengan nilai post-test sebagai *outcome* dan pre-test sebagai kovariat untuk meningkatkan kekuatan uji dan

mengontrol perbedaan dasar (Thapa et al., 2022). Selain itu, change score (Δ = post-pre) dilaporkan pada tingkat individu dan kelompok sebagai informasi pelengkap serta untuk visualisasi respons. Ukuran efek dilaporkan sebagai Cohen's d/Hedges' g lengkap dengan 95% CI, mengikuti rekomendasi pelaporan agar signifikansi praktis dapat dinilai bersamaan dengan signifikansi statistik (Chen et al., 2025; Chen et al., 2023). Untuk membatasi *Type I error* pada beberapa perbandingan, diterapkan koreksi Holm-Bonferroni bila relevan (Singh et al., 2018). Analisis *sensitivity* dan power post hoc direncanakan untuk menilai kecukupan sampel terutama bila nilai *p* mendekati ambang. Jika asumsi tidak terpenuhi, transformasi data atau uji nonparametrik yang ekuivalen dipertimbangkan dengan pelaporan yang transparan. Variabel kovariat potensial—misalnya volume beban mingguan dari catatan latihan—akan diuji pengaruhnya dalam model eksploratori untuk menilai apakah perbedaan dosis total memediasi hasil. Visualisasi data mencakup *violin/box plots* dan grafik perubahan individu untuk meningkatkan transparansi dan interpretabilitas temuan pada populasi remaja.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Sebanyak 26 pemain sepak bola usia 17 tahun dari South Garden FC Masbagik menyelesaikan seluruh tahapan pengukuran pre-test dan post-test pada April-Mei 2024. Peserta dialokasikan secara acak (1:1) ke kelompok intervensi (N=13) dan kelompok kontrol (N=13) melalui undian yang telah disiapkan peneliti. Daftar alokasi individual tercantum pada Tabel 1 (mis. kelompok intervensi: Alfian, Alwi, Hadi, dst.; kelompok kontrol: Ardian, Mirwan, Rahman, dst.). Tidak ada laporan putus ikut (*attrition*) selama periode studi, sehingga analisis mencakup seluruh 26 peserta yang dialokasikan. Pengukuran dilakukan pada kondisi lapangan yang seragam dan dengan prosedur standar yang sama untuk kedua kelompok. Struktur data yang lengkap (per subjek) untuk nilai kekuatan otot tungkai (kg) tersedia pada Tabel 2 (kelompok intervensi) dan Tabel 3 (kelompok kontrol), memungkinkan penjabaran perubahan dalam-kelompok dan perbandingan antar-kelompok secara transparan.

Tabel 1. Hasil Pembagian kelompok eksperimen dan kontrol

No	Kelompok	
	Eksperimen	Kontrol
1	Alfan	Ardian
2	Alwi	Mirwan
3	Hadi	Rahman
4	Irwan	Wandi
5	Rahmat	Rodi
6	Firman	Yasir
7	Edi	Nanang
8	Pian	Habib
9	Dayat	Bayu
10	Fatir	Yogi
11	Saswandi	Ari
12	Tarmizi	Joni
13	Prawihadi	Alfian

Pada kelompok intervensi, rerata (SD) kekuatan otot tungkai meningkat dari $105,88 \pm 16,48$ kg (pre-test) menjadi $125,07 \pm 17,60$ kg (post-test). Rentang nilai individu berkisar dari 65,50–125,50 kg pada pre-test menjadi 84,00–146,00 kg pada post-test (Tabel 2). Pada kelompok kontrol, rerata (SD) meningkat dari $107,88 \pm 13,14$ kg menjadi $112,69 \pm 12,85$ kg dengan rentang 80,50–126,00 kg (pre-test) dan 85,00–131,00 kg (post-test) (Tabel 3). Secara deskriptif, kedua kelompok menunjukkan kenaikan nilai pascaintervensi; namun, besaran kenaikan pada kelompok intervensi tampak lebih besar daripada kontrol. Perbedaan rerata post-test antarkelompok adalah 12,38 kg ($125,07$ vs $112,69$).

Tabel 2. *Pre Test dan Post Test Kelompok Eksperimen*

No subjek	Pre test	Post test
1	114	136
2	85	104
3	104	124
4	96	110
5	118	139
6	125,50	146
7	106,50	126
8	65,50	84
9	110	130
10	122	142
11	108	128
12	120	140
13	102	117
Mean (SD)	$105,88 \pm 16,48$	$125,07 \pm 17,60$

Tabel 3. *Pre Test dan Post Test Kelompok Kontrol*

No subjek	Pre test	Post test
1	121	128
2	111	117
3	107	114
4	123	125
5	109	115
6	101	107
7	98,50	103
8	117,50	122
9	80,50	85
10	90	97
11	105	110
12	113	111
13	126	131
Mean (SD)	$107,88 \pm 13,14$	$112,69 \pm 12,85$

Uji normalitas Shapiro-Wilk menunjukkan seluruh distribusi pre-test dan post-test pada kedua kelompok berdistribusi normal ($p > 0,05$) sebagaimana tersaji pada

Tabel 4 (mis. pre-test intervensi $W=0,903$; $p=0,146$; post-test intervensi $W=0,917$; $p=0,225$; pre-test kontrol $W=0,964$; $p=0,810$; post-test kontrol $W=0,968$; $p=0,868$). Hasil ini memenuhi prasyarat untuk penggunaan uji parametrik pada analisis selanjutnya. Dengan demikian, perbandingan dalam-kelompok dianalisis menggunakan uji t berpasangan, sedangkan perbandingan antar-kelompok menggunakan uji t tidak berpasangan pada taraf signifikansi $\alpha=0,05$ yang konsisten di seluruh pengujian.

Tabel 4. Hasil Uji Normalitas (*Shapiro-Wilk*)

Kelas		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
Hasil	Pretest eksperimen	.176	13	.200*	.903	13	.146
	Post test eksperimen	.168	13	.200*	.917	13	.225
	Pretest kontrol	.105	13	.200*	.964	13	.810
	Post test kontrol	.109	13	.200*	.968	13	.868

Pada kelompok intervensi, selisih berpasangan (post-pre) adalah +19,19 kg dengan $SE=0,627$ dan SD selisih=2,260; uji t berpasangan menunjukkan perbedaan sangat bermakna ($t=-30,624$; $df=12$; $p<0,001$). 95% CI untuk perubahan adalah [+17,82; +20,56] kg. Secara praktis, ini setara dengan +18,1% dari rerata pre-test (19,19/105,88). Ukuran efek dalam-kelompok berbasis selisih berpasangan (dz) sangat besar ($dz\approx 8,49$), konsisten dengan nilai t dan variabilitas selisih yang rendah. Pada kelompok kontrol, perubahan berpasangan adalah +4,81 kg dengan $SE=0,685$ dan SD selisih=2,471; uji t berpasangan juga bermakna ($t=-7,015$; $df=12$; $p<0,001$). 95% CI untuk perubahan adalah [+3,32; +6,30] kg, setara +4,5% dari rerata pre-test (4,81/107,88), dengan ukuran efek dalam-kelompok $dz\approx 1,95$. Temuan ini menegaskan bahwa kedua kelompok mengalami peningkatan, namun besaran kenaikan pada kelompok intervensi jauh lebih besar secara deskriptif dan inferensial dalam-kelompok.

Tabel 5. Hasil Uji T Berpasangan

		Paired Differences			t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	SD	Std. Error			
Pair 1	Pretest kontrol - posttest kontrol	-4.80769	2.47099	.68533	-7.015	12	.000
	Pretest eksperimen - posttest eksperimen	19.19231	2.25959	.62670	30.624	12	.000

Perbandingan post-test antar-kelompok menggunakan uji t tidak berpasangan menunjukkan selisih rerata +12,38 kg yang nyaris mencapai signifikansi (Sig.=0,052; $df=24$; $p=0,052$; $SE=6,046$). 95% CI untuk selisih post-test adalah [-0,09; +24,86] kg, yang melintasi nol sehingga tidak memenuhi kriteria signifikansi pada $\alpha=0,05$. Secara

klinis/praktis, arah efek mendukung intervensi, tetapi ketepatan estimasi masih terbatas. Mengingat kedua kelompok sama-sama meningkat, interpretasi efek perlakuan antar-kelompok lebih tepat berbasis selisih perubahan (Δ). Secara deskriptif, $\Delta_{\text{intervensi}} \approx +19,19$ kg dan $\Delta_{\text{kontrol}} \approx +4,81$ kg, sehingga selisih $\Delta \approx +14,38$ kg mendukung superioritas intervensi. Namun, karena uji antar-kelompok yang dilakukan berbasis skor post-test (bukan ANCOVA atau uji pada Δ), bukti signifikansi statistik antara-kelompok tetap belum konklusif pada $\alpha=0,05$. Analisis lanjutan (mis. ANCOVA dengan pre-test sebagai kovariat) dianjurkan untuk memberikan estimasi efek yang lebih presisi.

Tabel 6. Hasil Uji T Tidak Berpasangan

t-test for Equality of Means						
	Sig.	T	df	Sig.	Mean Diff.	Std. Error
Sebelum	.639	-.342	24	.735	-2.00000	5.84750
Sesudah	.915	.348	24	.052	12.38462	6.04560

Studi ini mendapati peningkatan bermakna dalam-kelompok pada kekuatan otot tungkai baik pada intervensi (+19,19 kg; 95% CI [+17,82; +20,56]; $p<0,001$) maupun kontrol (+4,81 kg; 95% CI [+3,32; +6,30]; $p<0,001$). Perbandingan antara-kelompok pada nilai post-test menunjukkan kecenderungan ke arah keunggulan intervensi (+12,38 kg) tetapi tidak signifikan pada $\alpha=0,05$ ($p=0,052$; 95% CI [-0,09; +24,86]). Secara praktis, besaran perubahan relatif (+18,1% vs +4,5%) dan selisih Δ ($\approx +14,38$ kg) mendukung manfaat intervensi, namun temuan antar-kelompok memerlukan konfirmasi menggunakan pendekatan analitik yang lebih kuat (mis. ANCOVA) atau sampel yang lebih besar untuk memperkecil ketidakpastian estimasi. Format pelaporan ini menyelaraskan transparansi deskriptif dengan inferensi statistik, serta memudahkan pembaca mengevaluasi relevansi praktis bagi konteks pembinaan pemain usia 17 tahun di klub komunitas.

Pembahasan

Studi ini menunjukkan peningkatan dalam-kelompok yang bermakna pada kekuatan otot tungkai baik pada kelompok NMT-5 maupun kontrol, dengan kenaikan yang secara deskriptif lebih besar pada kelompok intervensi. Namun, perbandingan antar-kelompok pada skor post-test menghasilkan $p=0,052$, sehingga belum memenuhi ambang signifikansi konvensional. Pola ini konsisten dengan karakteristik intervensi jangka pendek pada atlet muda, di mana respons awal latihan kekuatan/pliometrik kerap didorong oleh perubahan neuromuskular yang cepat sebelum adaptasi hipertrofi bermakna muncul. Karena itu, arah efek yang menguntungkan NMT-5 tetap relevan secara praktis, tetapi presisi estimasinya memerlukan analitik yang lebih kuat dan/atau sampel yang lebih besar.

Kerangka mekanistik menempatkan adaptasi saraf—peningkatan rekrutmen unit motor dan laju tembakan—sebagai kontributor utama kenaikan kekuatan pada fase awal latihan (Wong et al., 2021; Aksoy et al., 2017). Bukti tinjauan/meta-analitik menunjukkan respons kortikospinal dan *neural drive* yang meningkat pada protokol kekuatan jangka pendek (Mason et al., 2018), sementara adaptasi pada tingkat unit motor menguatkan kemampuan menghasilkan gaya cepat (Vecchio et al., 2022). Dalam konteks NMT-5 yang memadukan komponen penguatan, pliometrik,

keseimbangan, kelincahan, dan koordinasi, peningkatan efisiensi SSC serta koordinasi inter-/intramuskular memperkaya efek neural awal tersebut. Di sisi lain, kontribusi hipertrofi tetap relevan pada horizon waktu lebih panjang – dipengaruhi intensitas/volume dan tekanan metabolik – namun tidak selalu menjelaskan kenaikan kekuatan awal (Fink et al., 2016; Roberts et al., 2015). Dengan demikian, temuan kenaikan cepat pada kelompok intervensi sejalan dengan dominannya jalur adaptasi saraf pada remaja dengan durasi pelatihan yang relatif singkat.

Secara umum, protokol neuromuskular/pliometrik pada remaja menunjukkan manfaat pada performa dan kontrol gerak, termasuk dalam kerangka program preventif yang luas seperti FIFA 11+ (Eser et al., 2025). Studi keseimbangan terstruktur pada atlet muda juga mendemonstrasikan perbaikan fungsi dan kekuatan bila latihan disupervisi dengan baik (Faizullin & Файзуллина, 2015). Variasi efek antar studi kerap dipengaruhi dosis (frekuensi, volume, progresi) dan karakteristik populasi (usia biologis/maturasi), sebagaimana terlihat pada intervensi HIIT/recreational football pada anak (Cvetković et al., 2018) serta perbedaan metrik kekuatan lintas usia akademi (Mikulić et al., 2025). Perhatian terhadap uji fungsional dan kondisi pelaksanaan – termasuk tingkat supervisi – juga berdampak pada performa dan risiko cedera pada pemain remaja (Ko et al., 2018). Dengan latar ini, besaran peningkatan dalam-kelompok yang lebih besar pada NMT-5 masuk akal mengingat komponennya menstimulasi *neural drive*, SSC, dan koordinasi secara simultan.

Nilai p yang mendekati ambang ($p=0,052$) dapat mencerminkan daya uji yang terbatas (sampel kecil), variabilitas respons individu, dan potensi kontaminasi pada kelompok kontrol (misal, program latihan yang baik di bawah pelatih berlisensi). Pada populasi remaja, heterogenitas maturasi dan riwayat latihan memperlebar simpangan baku sehingga menyulitkan deteksi perbedaan antar-kelompok bila ukuran sampel minimal. Selain itu, bila volume beban mingguan kontrol tidak sepenuhnya ekuivalen atau ada paparan unsur neuromuskular di luar protokol, maka selisih antar-kelompok dapat tereduksi. Secara metodologis, analisis ANCOVA (post sebagai *outcome*, pre sebagai kovariat) dan/atau uji pada Δ (post-pre) sering kali lebih sensitif untuk desain dua-lengan pre-post pada sampel terbatas dan dapat dipertimbangkan dalam analisis lanjutan.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa program *Neuromuscular Five* (NMT-5) yang dilaksanakan 3x/minggu pada pemain sepak bola usia 17 tahun menghasilkan peningkatan dalam-kelompok kekuatan otot tungkai yang besar dan bermakna secara statistik, serta lebih tinggi secara deskriptif dibanding latihan kontrol ber-volume setara; namun perbandingan antar-kelompok berbasis skor post-test belum mencapai signifikansi konvensional ($p=0,052$). Pola respons ini konsisten dengan karakter intervensi jangka pendek pada remaja, di mana adaptasi neuromuskular – peningkatan rekrutmen unit motor, efisiensi *stretch-shortening cycle* (SSC), dan koordinasi inter-/intramuskular – mendahului kontribusi hipertrofi, sehingga manfaat praktis dapat tampak meski estimasi statistik antar-kelompok masih kurang presisi. Secara terapan, NMT-5 layak dipertimbangkan sebagai opsi latihan yang efisien waktu di klub komunitas untuk mendukung kemampuan menendang dan tugas eksplosif lain,

asalkan dijalankan dengan supervisi, progresi terstruktur, dan pencatatan kepatuhan/volume beban. Di sisi lain, temuan ini perlu dikonfirmasi melalui studi dengan ukuran sampel lebih besar, kontrol beban latihan yang lebih ketat antar kelompok, dan analisis utama ANCOVA (post sebagai *outcome*, pre sebagai kovariat) serta pelaporan ukuran efek dan 95% CI guna meningkatkan ketepatan inferensi. Perpanjangan durasi akan memungkinkan penilaian kontribusi hipertrofi, sementara pengendalian faktor perancu (maturasi, tidur, nutrisi, paparan latihan di luar protokol) akan memperkuat validitas internal. Dengan demikian, walau belum menunjukkan keunggulan antar-kelompok yang signifikan pada $\alpha=0,05$, bukti konsisten arah efek dan besarnya peningkatan dalam-kelompok mendukung NMT-5 sebagai intervensi menjanjikan untuk peningkatan kekuatan tungkai pada pemain sepak bola remaja, sekaligus memberikan dasar yang kuat bagi penelitian lanjutan yang lebih ketat.

REKOMENDASI

Penelitian ini mendukung penggunaan program *Neuromuscular Five* (NMT-5) sebagai opsi latihan yang efisien untuk pemain usia 17 tahun, namun implementasi ke depan perlu menekankan standarisasi dosis dan pengendalian faktor perancu. Disarankan setiap klub yang mengadopsi NMT-5: (1) menyetarakan volume dan frekuensi dengan kelompok pembanding (aktif) serta memantau beban latihan mingguan ($\text{set} \times \text{reps} \times \text{beban}$ atau session-RPE , hitungan lompatan/SSC) agar evaluasi antar-kelompok adil; (2) menerapkan prosedur fidelitas (checklist TIDieR, *training logs*, audit kepatuhan $\geq 80\%$) dan supervisi tersertifikasi untuk menjaga keselamatan dan kualitas eksekusi; (3) menstandarisasi pengukuran kekuatan (waktu pagi, pemanasan 10–15 menit, ≥ 3 ulangan memakai rata-rata, kalibrasi alat, pencatatan dominansi tungkai); (4) menambahkan indikator performa fungsional (tinggi lompatan, sprint 10–20 m, *change of direction*), serta indikator risiko/injury surveillance dasar; dan (5) menjaga kebersihan metodologis: pembutaan penilai sebisa mungkin, pencatatan tidur/nutrisi/aktivitas luar protokol, serta pelaporan *adverse events*. Untuk pelaporan ilmiah, pastikan analisis menetapkan $\alpha=0,05$ secara konsisten, menyertakan Δ (post-pre), ukuran efek dan 95% CI, serta –bila dimungkinkan– ANCOVA (post sebagai *outcome*, pre sebagai kovariat) guna memperkuat inferensi.

Riset berikutnya dirancang sebagai uji coba teracak multiasar (klub berbeda) dengan stratified randomization berdasar tingkat maturasi (mis. offset PHV) dan baseline strength; target ukuran sampel ditentukan *a priori* dari efek sedang (mis. $\text{SMD} \approx 0,75$) pada $\alpha=0,05$ dan $\text{power} \geq 0,80$. Intervensi NMT-5 berjalan 8–12 minggu ($3 \times / \text{minggu}$, ~ 45 menit/sesi) dengan progresi terstruktur, dan kelompok kontrol aktif ber-volume/frekuensi sepadan tanpa komponen pliometrik/neuromuskular dinamis. Outcomes utama: kekuatan isometrik tungkai (leg dynamometer, protokol baku) dan performa fungsional; outcomes sekunder: EMG sederhana/indikator koordinasi (bila sumber daya memungkinkan), serta ultrasonografi ketebalan otot untuk mengeksplorasi pergeseran dari adaptasi neural ke hipertrofi pada durasi lebih panjang. Analitik utama memakai ANCOVA, dilengkapi analisis Δ , ukuran efek (Hedges g /Cohen d) dan 95% CI; kovariat meliputi volume beban mingguan, maturasi, dan riwayat latihan. Sertakan follow-up 4–8 minggu pascaintervensi untuk menilai retensi efek, serta analisis mediasi eksploratori (mis. apakah perubahan koordinasi/SSC memediasi kenaikan kekuatan). Seluruh prosedur dipra-registrasi

(protocol & analisis), mengikuti TIDieR/CONSORT, dengan rencana manajemen data (intention-to-treat, *multiple imputation*, audit trail) dan opsi berbagi data teranonimisasi. Tambahkan komponen kelayakan & biaya (feasibility/cost-effectiveness) agar adopsi di klub komunitas dapat dievaluasi secara realistis.

REFERENSI

- Abed, F., Hammami, R., Moran, J., Borji, R., Sahli, S., & Rebai, H. (2019). Effect of a 16-week combined strength and plyometric training program followed by a detraining period on athletic performance in pubertal volleyball players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2117–2127. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002461>
- Achenbach, L., Klein, C., Luig, P., Bloch, H., Schneider, D., & Fehske, K. (2021). Collision with opponents – but not foul play – dominates injury mechanism in professional men’s basketball. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00322-z>
- Aksoy, D., Erman, A., Balcı, N., & Şentürk, Ü. (2017). Effect of protein intake on muscle strength and hypertrophy during whole-body vibration training. *Isokinetics and Exercise Science*, 25(4), 235–242. <https://doi.org/10.3233/ies-171131>
- Ayers, J., DeBeliso, M., Sevene, T., & Adams, K. (2016). Hang cleans and hang snatches produce similar improvements in female collegiate athletes. *Biology of Sport*, 33(3), 251–256. <https://doi.org/10.5604/20831862.1201814>
- Chen, B., Deng, L., Liu, Y., Deng, X., & Yuan, X. (2025). The effect of integrative neuromuscular training on enhancing athletic performance: A systematic review and meta-analysis. *Life*, 15(8), 1183. <https://doi.org/10.3390/life15081183>
- Chen, L., Zhang, Z., Huang, Z., Yang, Q., Gao, C., Ji, H., ... Li, D. (2023). Meta-analysis of the effects of plyometric training on lower limb explosive strength in adolescent athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 1849. <https://doi.org/10.3390/ijerph20031849>
- Cvetković, N., Stojanović, E., Stojiljković, N., Nikolić, D., Scanlan, A., & Milanović, Z. (2018). Exercise training in overweight and obese children: Recreational football and high-intensity interval training provide similar benefits to physical fitness. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(S1), 18–32. <https://doi.org/10.1111/sms.13241>
- Dideriksen, J., Holobar, A., & Falla, D. (2016). Preferential distribution of nociceptive input to motoneurons with muscle units in the cranial portion of the upper trapezius muscle. *Journal of Neurophysiology*, 116(2), 611–618. <https://doi.org/10.1152/jn.01117.2015>
- Duggan, J., Keane, K., Moody, J., Byrne, P., Malone, S., Collins, K., ... Ryan, L. (2023). Strength and conditioning recommendations for female athletes: The Gaelic footballer. *Strength and Conditioning Journal*, 45(5), 525–544. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000761>

- Eser, C., Bıyıklı, T., Byrne, P., Duggan, J., Esformes, J., & Moody, J. (2025). The impact of the FIFA 11+ neuromuscular training programme on ankle injury reduction in football players: A systematic review and meta-analysis. *Muscles*, 4(3), 30. <https://doi.org/10.3390/muscles4030030>
- Faizullin, I., & Файзуллина, Е. (2015). Effects of balance training on post-sprained ankle joint instability. *International Journal of Risk & Safety in Medicine*, 27(s1), S99–S101. <https://doi.org/10.3233/jrs-150707>
- Ferreira, I., Santos, J., Souza, M., Teixeira, A., Barbosa, A., Nakamura, F., ... Barbosa, A. (2021). Isometric knee torque, quadriceps–hamstrings ratio, and jumping parameters in Brazilian soccer players of different age categories. *Human Movement*, 23(3), 81–91. <https://doi.org/10.5114/hm.2022.107972>
- Fink, J., Kikuchi, N., & Nakazato, K. (2016). Effects of rest intervals and training loads on metabolic stress and muscle hypertrophy. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(2), 261–268. <https://doi.org/10.1111/cpf.12409>
- Fioco, E., Palinkas, M., Barbosa, N., Verri, É., Ferreira, L., Lattaro, D., ... Regalo, S. (2025). Impact of high-intensity sports practice on stomatognathic system function: An observational study. *Dentistry Journal*, 13(3), 126. <https://doi.org/10.3390/dj13030126>
- França, I., Cerqueira, M., Neto, S., Araújo, C., Oliveira, Y., & Vieira, W. (2022). Effects of ischemic preconditioning on functional and neuromuscular performance of lower limbs of male amateur soccer players: Protocol for a randomized trial. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 12(4), 555. <https://doi.org/10.32098/mltj.04.2022.12>
- García-Valverde, A., Manresa-Rocamora, A., Hernández-Davó, J., & Sabido, R. (2021). Effect of weightlifting training on jumping ability, sprinting performance and squat strength: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17(4), 917–939. <https://doi.org/10.1177/17479541211061695>
- Hedayatpour, N., Golestani, A., Izanloo, Z., & Meghdadi, M. (2017). Unilateral leg resistance training improves time to task failure of the contralateral untrained leg. *Acta Gymnica*, 47(2), 72–77. <https://doi.org/10.5507/ag.2017.008>
- Hernández-Martínez, J., Guzmán-Muñoz, E., Ramírez-Campillo, R., Herrera-Valenzuela, T., Branco, B., Avila-Valencia, S., ... Valdés-Badilla, P. (2023). Effects of different plyometric training frequencies on physical performance in youth male volleyball players: A randomized trial. *Frontiers in Physiology*, 14, 1270512. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1270512>
- Hilska, M., Leppänen, M., Vasankari, T., Aaltonen, S., Kannus, P., Parkkari, J., ... Pasanen, K. (2021). Neuromuscular training warm-up prevents acute noncontact lower extremity injuries in children's soccer: A cluster randomized controlled trial. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(4), 23259671211005769. <https://doi.org/10.1177/23259671211005769>

- Ho, C., Lin, K., Hung, M., Chang, C., & Chen, K. (2019). System design and application for evaluation of digging agility in college male volleyball players. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 233(3), 424–431. <https://doi.org/10.1177/1754337119840837>
- Howell, D., Seehusen, C., Carry, P., Walker, G., Reinking, S., & Wilson, J. (2022). An 8-week neuromuscular training program after concussion reduces one-year subsequent injury risk: A randomized clinical trial. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 10(5_suppl2), 2325967121S00399. <https://doi.org/10.1177/2325967121s00399>
- Klawitter, L., Hackney, K., Christensen, B., Hamm, J., Hanson, M., & McGrath, R. (2023). Using electronic handgrip dynamometry and accelerometry to examine multiple aspects of handgrip function in master endurance athletes: A pilot study. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(9), 1777–1782. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004459>
- Ko, J., Rosen, A., & Brown, C. (2018). Functional performance tests identify lateral ankle sprain risk: A prospective pilot study in adolescent soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(12), 2611–2616. <https://doi.org/10.1111/sms.13279>
- Kons, R., Orssatto, L., Dias, J., Pauw, K., Meeusen, R., Trajano, G., ... Detanico, D. (2023). Effects of plyometric training on physical performance: An umbrella review. *Sports Medicine – Open*, 9(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00550-8>
- Mason, J., Frazer, A., Pearce, A., Goodwill, A., Howatson, G., Jaberzadeh, S., ... Kidgell, D. (2018). Determining the early corticospinal-motoneuronal responses to strength training: A systematic review and meta-analysis. *Reviews in the Neurosciences*, 30(5), 463–476. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2018-0054>
- Mikulič, M., Cholp, J., Nagy, N., & Skala, F. (2025). Differences in isometric strength and sprinting speed of academy soccer players: A special interest in transition between the age groups and national team selected players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 7, 1630522. <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1630522>
- Ramírez-Campillo, R., Thapa, R., Afonso, J., Pérez-Castilla, A., Bishop, C., Byrne, P., ... Granacher, U. (2023). Effects of plyometric jump training on the reactive strength index in healthy individuals across the lifespan: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 53(5), 1029–1053. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01825-0>
- Roberts, L., Raastad, T., Markworth, J., Figueiredo, V., Egner, I., Shield, A., ... Peake, J. (2015). Post-exercise cold water immersion attenuates acute anabolic signalling and long-term adaptations in muscle to strength training. *The Journal of Physiology*, 593(18), 4285–4301. <https://doi.org/10.1113/jp270570>
- Schagemann, J., Koebrich, T., Wendlandt, R., Schulz, A., Gille, J., & Oheim, R. (2021). Comparison of hamstring and quadriceps tendon autografts in anterior cruciate ligament reconstruction with gait analysis and surface

- electromyography. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, 22(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s10195-021-00581-z>
- Schilaty, N., McPherson, A., Nagai, T., & Bates, N. (2022). Arthrogenic muscle inhibition manifests in thigh musculature motor unit characteristics after anterior cruciate ligament injury. *European Journal of Sport Science*, 23(5), 840–850. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2056520>
- Singh, J., Appleby, B., & Lavender, A. (2018). *Effect of plyometric training on speed and change of direction ability in elite field hockey players*. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints201810.0233.v1>
- Soomro, N., Sanders, R., Hackett, D., Hubka, T., Ebrahimi, S., Freeston, J., ... Cobley, S. (2016). The efficacy of injury prevention programs in adolescent team sports. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(9), 2415–2424. <https://doi.org/10.1177/0363546515618372>
- Srinivasan, D., Sahanand, S., Dev, A., Rajan, D., Chandrasekaran, K., Kumaraswamy, V., ... Bansal, R. (2015). Knee and shoulder injury risk assessment in school level female basketball players: A cross-sectional study. *International Journal of Physiotherapy and Research*, 3(1), 905–910. <https://doi.org/10.16965/ijpr.2015.106>
- Sun, L., Luo, L., Yang, Y., & Luo, J. (2024). The effectiveness of neuromuscular training in preventing sports injuries of different genders, body parts, and types in adolescents: A systematic review of meta-analysis. *Quality in Sport*, 34, 56154. <https://doi.org/10.12775/qs.2024.34.56154>
- Thapa, R., Narvariya, P., Weldon, A., Talukdar, K., & Ramírez-Campillo, R. (2022). Can complex contrast training interventions improve aerobic endurance, maximal strength, and repeated sprint ability in soccer players? A systematic review and meta-analysis. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 11(2), 45–55. <https://doi.org/10.26773/mjssm.220906>
- Vaithanomsat, P., Sukatta, U., Janchai, P., Tumnark, P., & Phoemsapthawee, J. (2025). Enhancing muscle strength and reducing inflammation: The combined effects of hydrolyzed house cricket protein supplementation and concurrent training in older women. *Food Science & Nutrition*, 13(9), e70984. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70984>
- Vecchio, A., Casolo, F., Dideriksen, J., Aagaard, P., Felici, F., Falla, D., ... Farina, D. (2022). Lack of increased rate of force development after strength training is explained by specific neural, not muscular, motor unit adaptations. *Journal of Applied Physiology*, 132(1), 84–94. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00218.2021>
- Vega, M., Michel, J., Plotkin, D., McIntosh, M., Godwin, J., Anglin, D., ... Agostinelli, P. (2024). Neuromuscular adaptations in response to disuse and weight-training rehabilitation are enhanced in resistance trained individuals. *Physiology*, 39(S1). <https://doi.org/10.1152/physiol.2024.39.s1.2523>

- Venegas-Carro, M., Krämer, A., Moreno-Villanueva, M., & Grüber, M. (2022). Test-retest reliability and sensitivity of common strength and power tests over a period of 9 weeks. *Sports*, 10(11), 171. <https://doi.org/10.3390/sports10110171>
- Williams, A., Glen, J., & Sorbie, G. (2022). The effect of upper body sprint interval training on golf drive performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 62(11), 1295–1302. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.22.12944-0>
- Wong, C., Conway, L., Fleming, G., Gopie, C., Liebeskind, D., & Xue, S. (2021). Immediate effects of a single spinal manipulation on lower-limb strength in healthy individuals: A critically appraised topic. *Journal of Sport Rehabilitation*, 30(1), 161–165. <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0372>
- Zen, M., Setijono, H., & Kusnanik, N. (2021). The effect of single leg and double leg bounding exercise programme (BEP) on increasing physical abilities, strength, and agility. *Britain International of Humanities and Social Sciences Journal*, 3(3), 459–467. <https://doi.org/10.33258/biohs.v3i3.525>
- Dorđević, S., Mastnak, E., Žumer, J., Krašna, S., Ćirić, M., & Dopsaj, M. (2025). Total potentiation level: A new metric for quantifying post-activation potentiation dynamics using tensiomyography and statistical parametric mapping. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13, 1533749. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1533749>