

Proprioceptive Training dalam Pencegahan Ankle Sprain pada Atlet: Sebuah Narrative Review

Proprioceptive Training in the Prevention of Ankle Sprain in Athletes: A Narrative Review

I Kadek Angga Raditya^{1*}, Made Ngurah Kresnadana Putra Utama², Ni Made Risma Mutia Maharani³, I Made Egga Adika Suputra⁴, I Made Handyka Peramas Dharmasunu⁵

¹²³⁴⁵ Universitas Udayana,
Jalan P.B. Sudirman, Denpasar 80112 - 80119, Indonesia.
Email: anggaraditya786@gmail.com

Abstrak

Latar Belakang: Keseleo pergelangan kaki (*ankle sprain*) adalah salah satu cedera muskuloskeletal yang paling umum terjadi pada atlet, dengan prevalensi tinggi dan dampak signifikan terhadap performa, kualitas hidup, serta tingginya risiko cedera berulang yang mengarah pada *chronic ankle instability* (CAI). **Tujuan:** Meninjau bukti ilmiah terkini mengenai efektivitas *proprioceptive training* sebagai strategi pencegahan primer dan sekunder *ankle sprain* pada populasi atlet. **Metode:** Tinjauan literatur naratif ini disusun dengan menelusuri basis data PubMed, Scopus, dan Google Scholar menggunakan kata kunci *proprioceptive training*, *ankle sprain prevention*, *athletes*, *balance exercise*, dan *injury prevention*. Artikel yang dipilih meliputi studi intervensi, studi kohort, dan tinjauan sistematis yang relevan. **Hasil:** Bukti ilmiah secara konsisten menunjukkan bahwa *proprioceptive training* secara signifikan mengurangi insiden *ankle sprain* hingga 38%. Mekanismenya melibatkan peningkatan kontrol neuromuskular, perbaikan *joint position sense* (JPS), dan optimalisasi refleks protektif melalui adaptasi neuroplastik pada level perifer dan sentral. Latihan proprioseptif menawarkan adaptasi fungsional jangka panjang yang lebih superior. **Diskusi:** Rendahnya kontrol neuromuskular akibat defisit proprioseptif merupakan akar masalah dari tingginya angka kekambuhan *ankle sprain*. *Proprioceptive training* secara langsung menargetkan mekanisme ini, menjadikannya intervensi yang lebih fundamental daripada *bracing* yang hanya memberikan stabilitas mekanis eksternal atau *strengthening* yang tidak sepenuhnya mengatasi defisit koordinasi. Kombinasi *proprioceptive training* dengan *strengthening* menunjukkan hasil paling komprehensif. **Kesimpulan:** *Proprioceptive training* adalah intervensi berbasis bukti yang esensial dalam program pencegahan dan rehabilitasi *ankle sprain* pada atlet. Pendekatan ini efektif dalam memulihkan fungsi sensorimotor, meningkatkan stabilitas sendi, dan menurunkan risiko cedera berulang secara signifikan. **Saran:** Implementasi *proprioceptive training* perlu menjadi standar dalam protokol pencegahan cedera atlet. Penelitian di masa depan direkomendasikan untuk fokus pada optimalisasi dosis, frekuensi, dan progresi latihan, serta penggunaan biomarker neurofisiologis untuk memetakan adaptasi neural.

Kata kunci: *Ankle sprain*; *Proprioceptive training*; Pencegahan cedera; Atlet; Instabilitas kronis pergelangan kaki.

Abstract

Background: *Ankle sprain* is one of the most common musculoskeletal injuries among athletes, characterized by high prevalence and significant impacts on performance, quality of life, and a high risk of recurrence leading to *chronic ankle instability* (CAI). **Objective:** To review current scientific evidence on the effectiveness of *proprioceptive training* as a primary and secondary prevention strategy for *ankle sprains* in the athletic population. **Methodology:** This narrative literature review was conducted by searching PubMed, Scopus, and Google Scholar databases using the keywords *proprioceptive training*, *ankle sprain prevention*, *athletes*, *balance exercise*, and *injury prevention*. Selected articles included relevant intervention studies, cohort studies, and systematic reviews. **Results:** Scientific evidence consistently demonstrates that *proprioceptive training* significantly reduces the incidence of *ankle sprain* by up to 38%. Its mechanism involves enhancing neuromuscular control, improving *joint position sense* (JPS), and optimizing protective reflexes through neuroplastic adaptations at both peripheral and central levels. *Proprioceptive training* offers superior long-term functional adaptations. **Discussion:** Impaired neuromuscular control resulting from proprioceptive deficits is the root cause of the high recurrence rate of *ankle sprains*. *Proprioceptive training* directly targets this mechanism, making it a more fundamental intervention than *bracing*, which only provides external mechanical stability, or *strengthening*, which does not fully address coordination deficits. The combination of *proprioceptive training* and *strengthening* yields the most comprehensive results. **Conclusion:** *Proprioceptive training* is an essential, evidence-based intervention in *ankle sprain* prevention and rehabilitation programs for athletes. This approach is effective in restoring sensorimotor function, enhancing joint stability, and significantly reducing the risk of recurrent injury.

* Corresponding Author: I Kadek Angga Raditya, Universitas Udayana, Denpasar, Indonesia.

E-mail : anggaraditya786@gmail.com

Doi : 10.35451/w0sp8z04

Received : September 30, 2025. Accepted: October 24, 2025. Published: October 31, 2025

Copyright (c) 2025 I Kadek Angga Raditya. Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Recommendation: The implementation of proprioceptive training should become a standard in injury prevention protocols for athletes. Future research is recommended to focus on optimizing the dose, frequency, and progression of exercises, as well as utilizing neurophysiological biomarkers to map neural adaptations.

Keywords: Ankle sprain; Proprioceptive training; Injury prevention; Athletes; Chronic ankle instability.

1. PENDAHULUAN

Daya tahan optimal dan kondisi fisik prima sangat penting bagi atlet untuk menunjang performa di lapangan. Namun, risiko mengalami cedera mendadak tetap tidak bisa dihindari. Tingkat kebugaran yang tinggi tidak selalu membuat atlet terhindar dari cedera, karena paparan latihan dan pertandingan yang lebih intens justru meningkatkan akumulasi stres pada tubuh [1]. Selain itu, tingkat kebugaran tinggi juga mendorong keterlibatan dalam latihan lebih berat dan lebih sering, sehingga memperbesar peluang terjadinya cedera [2]. Salah satu cedera paling umum dialami oleh atlet adalah ankle sprain yang menurunkan performa, kualitas hidup, hingga meningkatkan risiko cedera berulang [3]. Lebih lanjut, atlet yang memiliki riwayat ankle sprain mengalami tantangan dalam keseimbangan dinamis dan kinerja fungsional dibandingkan dengan individu yang sehat [4].

Metode pencegahan ankle sprain saat ini menekankan pada *agility* dan *strengthening*, tetapi sangat bergantung pada *compliance* atlet atau pelatih program [5]. Dikatakan pula bahwa strategi preventif ankle sprain sebagian besar terdiri dari latihan sederhana yang belum mencakup penggabungan lebih banyak latihan seperti *jumping and landing exercises*, *multiplanar single limb challenges*, dan *open chain joint position sense training* [6]. Selain itu, pengaplikasian *tapping* sebagai strategi pencegahan tidak mempengaruhi sudut inversi, tidak adanya bukti yang cukup mengenai efek penyangga ankle, serta tidak memberikan adaptasi neuromuscular yang berkesinambungan [7]. Kondisi ini menunjukkan masih terdapat keterbatasan dalam pendekatan preventif ankle sprain, karena tingkat *compliance* akibat latihan yang bersifat monoton dan tidak terpersonalisasi, serta sebagian besar belum menargetkan aspek proprioseptif yang berperan dalam stabilitas sendi.

Proprioepsi menjadi aspek yang krusial dalam hal ini karena berperan sebagai pertahanan pertama terhadap cedera para atlet. *Proprioceptive training* mampu meningkatkan *functional performance*, *coordination*, *postural balance*, dan *postural control* [8]. Selain itu, proprioseptif dapat menjadi strategi yang efektif bagi para ahli dan pelatih untuk meningkatkan kinerja fisik atlet. Terutama, latihan proprioseptif harus digunakan di dalam dan di luar sesi pelatihan untuk memungkinkan atlet berinteraksi lebih efektif dengan tubuh mereka, mengurangi risiko cedera, dan meningkatkan transfer daya [9]. Tanpa latihan proprioseptif, pencegahan ankle sprain hanya menargetkan kekuatan fisik tanpa menyentuh kemampuan tubuh dalam mengantisipasi gerakan mendadak yang memicu terjadinya cedera.

Maka dari itu, artikel ini meninjau literatur terkini mengenai efektivitas *proprioceptive training* dalam pencegahan ankle sprain pada atlet. Ulasan ini disusun dalam bentuk *narrative review* yang juga menyoroti penerapan latihan lebih komprehensif dalam mengurangi risiko cedera khususnya ankle sprain.

2. METODE

Penulisan paper ini menggunakan pendekatan tinjauan literatur naratif dengan meninjau berbagai sumber ilmiah yang membahas peran latihan proprioseptif dalam pencegahan ankle sprain pada atlet. Sumber yang digunakan mencakup artikel penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal kedokteran olahraga dan fisioterapi, laporan klinis, serta pedoman latihan dari organisasi olahraga dan rehabilitasi.

Pencarian literatur dilakukan melalui basis data elektronik seperti PubMed, Scopus, dan Google Scholar dengan kata kunci: *proprioceptive training*, *ankle sprain prevention*, *athletes*, *balance exercise*, *injury prevention*. Artikel yang dipilih mencakup studi kohort, studi intervensi latihan, dan ulasan ilmiah yang relevan dengan topik pembahasan.

Pemilihan sumber dilakukan berdasarkan relevansi terhadap topik, kejelasan metodologi, serta signifikansi temuan yang dilaporkan. Artikel yang hanya berisi opini tanpa data empiris atau yang memiliki metodologi yang lemah dikecualikan dari pembahasan.

3. HASIL

Ankle Sprain pada Atlet

Ankle sprain merupakan kondisi dimana satu atau lebih ligamen pada sendi ankle mengalami peregangan atau robekan yang menyebabkan rasa sakit serta keterbatasan rentang gerak [10]. Kondisi ini tergolong sebagai salah

satu cedera muskuloskeletal yang paling umum dialami oleh individu aktif secara fisik [11]. Peristiwa ankle sprain umumnya terjadi karena inversi atau kondisi pergelangan kaki berputar ke dalam yang mengakibatkan terjadinya penekanan kompleks lateral ankle meliputi anterior talofibular ligament (ATFL), calcaneofibular ligament (CFL), dan posterior talofibular ligament (PTFL). Ketiga ligamen tersebut umumnya cedera secara berurutan dari ATFL, CFL, hingga PTFL [12]. ATFL menjadi ligamen pertama yang terluka karena terlemah, ruptur ATFL inilah memicu kerusakan pada CFL dan terakhir PTFL [13].

Berdasarkan tingkat keparahan kerusakan ligamen, ankle sprain diklasifikasikan ke dalam tiga tingkatan meliputi *grade I*, *II*, dan *III*. *Grade I* tergolong ringan karena terjadi sedikit *stretch* ligamen dengan robekan serat mikroskopis, pembengkakan minimal, serta sedikit nyeri tekan lokal [12][14]. *Grade II* tergolong sedang dengan rasa sakit sedang, bengkak, memar, penderita mengalami kesulitan menahan beban, serta terjadi ruptur parsial [12][14]. *Grade III* tergolong parah dengan nyeri dan bengkak signifikan sering kali dengan edema difus dan ecchymosis, dan pasien biasanya tidak dapat menahan berat badan [12]. Dikatakan pula *grade III* termasuk ruptur lengkap disertai ketidakstabilan yang signifikan [14].

Prevalensi ankle sprain sangat tinggi di dunia dengan 3 juta kasus di Amerika Serikat, terutama pada populasi muda dan aktif secara fisik. Tinjauan 227 studi pada 201.600 pasien dari 70 olahraga di 38 negara menunjukkan ankle sebagai area cedera terbanyak (34%) [15]. Hampir 10.000 kasus per hari terjadi di negara-negara western, mencakup 16–40% dari semua trauma olahraga, dengan studi pada 198 peserta melaporkan prevalensi 49,5% [16][17]. Di Indonesia, penelitian di Nusa Tenggara Timur menunjukkan distribusi tertinggi pada usia 21–25 tahun (55,6%), sedangkan di Jawa Timur kasus terbanyak usia 17–23 tahun (35,8%) [18][19]. Sekitar 40% cedera pergelangan kaki traumatis terjadi saat aktivitas atletik, paling sering pada basket (41,1%), sepak bola (9,3%), dan futsal (7,9%), dengan analisis 2 tahun menegaskan insidensi tertinggi pada basket, voli, dan futsal [15][20].

Faktor risiko ankle sprain terbagi menjadi intrinsik dan ekstrinsik. Faktor intrinsik meliputi riwayat terkilir, usia, jenis kelamin, tinggi badan, berat badan, indeks massa tubuh, proprioepsi buruk, kelonggaran ligamen, serta malalignment ekstremitas bawah [12][15]. Faktor ekstrinsik mencakup penggunaan penyangga, jenis olahraga, tingkat kompetisi, latihan neuromuskular, pemanasan tidak memadai, alas kaki tidak tepat, olahraga berisiko tinggi, dan permukaan tidak rata [15][21]. Tanpa tindakan preventif, risiko akan meningkat dan berdampak buruk terhadap performa atlet, dengan efek jangka pendek berupa penurunan keseimbangan dinamis, fungsi, *time-loss* signifikan, absensi puluhan hari, serta kekambuhan tinggi [4][22]. Dalam jangka panjang Ankle sprain berdampak pada penurunan kualitas hidup dan performa atlet, ditandai gangguan keseimbangan, *fear of pain*, perubahan strategi gait yang meningkatkan risiko cedera berulang, serta rekuren sebagai prediktor kuat penurunan performa dan karier [3][23][24].

Dasar Neurofisiologi dan Proprioepsi

Proprioepsi adalah komponen sistem somatosensori yang memungkinkan individu mengenali posisi serta pergerakan tubuh melalui input reseptor internal. Gangguan proprioepsi dapat menimbulkan ataksia sensorik, instabilitas postural, dan diskoordinasi gerakan, terutama tanpa dukungan visual (Seo et al. 2023) [25][26]. Studi Yılmaz et al. (2024) menekankan perannya dalam pembelajaran motorik dan pemulihan fungsional lewat adaptasi neural. Dalam olahraga, proprioepsi mendukung performa optimal, pencegahan cedera, serta penguasaan keterampilan atletik [27]. Sistem sensorimotor yang menopangnya terdiri atas reseptor otot, tendon, dan sendi. Muscle spindles menjadi sensor utama panjang/kecepatan regangan otot dan refleks regangan. Spindel ini bersifat adaptif melalui pengaruh fusimotor yang menyesuaikan sensitivitas dengan tuntutan motorik (eLife, 2022) [28]. Golgi tendon organs (GTOs) mendeteksi tegangan kontraksi otot, membantu regulasi kekuatan sekaligus mencegah cedera akibat beban berlebih (Nat Commun, 2021) [29]. Reseptor sendi/ligamen seperti Ruffini, Pacinian, dan Golgi-like berfungsi mendeteksi posisi sendi pada batas gerak dan menjaga stabilitas. Bukti cedera ACL menunjukkan hilangnya input proprioseptif dari reseptor ligamen menyebabkan instabilitas dan gangguan neuromuskular (Clin Anat, 2022) [30]. Mekanoreseptor kulit memberi sinyal tambahan tentang posisi tubuh, berperan saat sistem utama terganggu. Perubahan struktural reseptor akibat degenerasi seperti osteoarthritis menurunkan kemampuan proprioseptif dan meningkatkan risiko cedera (J Clin Med, 2023) [31]. Secara keseluruhan, reseptor otot, tendon, dan sendi tidak hanya penting untuk kontrol motorik, tetapi juga mendukung pembelajaran, pemulihan, dan perlindungan dari cedera.

Gangguan proprioepsi pasca ankle sprain berkontribusi pada chronic ankle instability (CAI). RCT menunjukkan latihan sensorimotor efektif memperbaiki defisit ini. Latihan kekuatan 6 minggu meningkatkan JPS dengan efek sedang ($d \approx 0.52$) dan vibratory sense [32]. Wobble board training 5 minggu menurunkan kesalahan sudut inversion 2–3° [33]. Balance training lebih unggul dari PNF dalam mengurangi nyeri dan meningkatkan keseimbangan frontal [33]. RCT besar (522 atlet) membuktikan latihan proprioseptif 8 minggu menurunkan

kekambuhan dari 33% jadi 22% (RR 0.63) [34]. Latihan keseimbangan juga meningkatkan skor SEBT dan menurunkan TTS, dengan efek tambahan pada kontrol neuromuskular [35]. Secara keseluruhan, latihan proprioseptif memperbaiki JPS, meningkatkan stabilitas, dan menurunkan risiko rekuren hingga 35%. Proprioepsi berperan krusial dalam kontrol neuromuskular dan keseimbangan, sementara gangguannya meningkatkan risiko cedera. Meta-analisis 12 RCT ($n = 1.817$) menunjukkan latihan proprioseptif menurunkan sprain 38% dan meningkatkan skor SEBT [36]. Studi atlet muda melaporkan peningkatan knee JPS 56.4% dibanding latihan non-spesifik ($p = 0.023$) [37]. Pada lansia, proprioepsi lutut/pergelangan berkorelasi dengan Berg Balance Scale ($r = -0.28$ s.d. -0.35) [38]. Atlet dengan sprain kronis mengalami defisit proprioepsi meski ROM normal, bahkan sisi sehat ikut terganggu ($p = 0.009-0.039$) [39][40]. Kekuatan otot juga prediktor signifikan keseimbangan, sehingga latihan proprioseptif dan penguatan efektif untuk pencegahan cedera dan rehabilitasi [41].

Mekanisme Proprioceptive Training dalam Pencegahan Cedera

Latihan proprioseptif efektif meningkatkan aktivasi otot, keseimbangan, dan efisiensi saraf. RCT pada pemain basket wanita dengan perturbation-based training 8 minggu memperbaiki dynamic balance, kekuatan evertor, serta performa lompat dan side-hop ($p < 0.05$) [42]. RCT pada pasien chronic ankle instability dengan intelligent training system 6 minggu juga menunjukkan peningkatan inversion strength dan Y-Balance Test signifikan, mencerminkan pra-aktivasi otot dan reorganisasi sensorimotor [43]. Pada neuropati perifer, sensorimotor + gait training 8 minggu memperbaiki proprioepsi, konduksi saraf peroneal, serta aktivasi gastrocnemius dan multifidus ($p < 0.05$) [44]. Meta-analisis RCT PNF melaporkan peningkatan Y-Balance Test (WMD = +3.61), Star Excursion Balance Test (WMD = +5.50), dan kekuatan otot pergelangan (SMD = 0.19) [45]. Bukti 2020–2025 menegaskan latihan proprioseptif memperkuat jalur aferen, meningkatkan refleks neuromuskular, serta mengoptimalkan perlindungan sendi dan performa motorik [42][43][44][45].

Latihan proprioseptif meningkatkan koordinasi motorik dan kontrol postural lewat adaptasi reseptor perifer dan integrasi sensorimotor sentral [25]. Protokol terfokus memperbaiki joint-position sense, menurunkan variabilitas sinyal aferen, dan meningkatkan fungsi. Perturbation training merangsang pra-aktivasi otot, koaktivasi efisien, serta respons lebih cepat dengan peningkatan skor Y-Balance/SEBT [46]. Mekanisme utamanya mencakup peningkatan sensitivitas reseptor, penyesuaian fusimotor drive, reorganisasi kortikal, dan anticipatory postural adjustments. Intervensi pasif pun dapat meningkatkan persepsi proprioseptif melalui adaptasi refleks [47]. Meta-analisis dan RCT menunjukkan latihan ini menurunkan insiden sprain serta meningkatkan keseimbangan fungsional [26][48]. Efeknya sebanding atau komplementer dengan resistensi sehingga kombinasi lebih protektif. Kesimpulannya, proprioceptive training memperkuat jalur aferen dan strategi pra-aktivasi untuk melindungi sendi [46].

Latihan proprioseptif meningkatkan keseimbangan statis-dinamis melalui adaptasi perifer dan sentral yang memperbaiki joint-position sense serta kontrol neuromuskular [26]. Meta-review melaporkan peningkatan reach Y-Balance/SEBT $\pm 1-5$ cm, relevan secara klinis. RCT wobble-board 4–6 minggu pada CAI menurunkan error sudut inversion $\sim 2-3^\circ$ dan memperbaiki time-to-stabilization serta COP displacement [49][50]. Program perturbation training pada atlet meningkatkan Y-Balance ($p < 0.001$) dan kekuatan evertor/invertor ($p \leq 0.02$) [51]. Mekanisme mencakup peningkatan akurasi sinyal aferen, adaptasi fusimotor, pra-aktivasi otot lebih cepat, serta reorganisasi sensorimotor [52]. Efek ini diterjemahkan ke skor stabilometry/tes fungsional lebih baik dan penurunan cedera ekstremitas bawah [27]. Besar efek dipengaruhi durasi, frekuensi, progresi, populasi, serta kondisi fatigue. RCT menunjukkan adaptasi lebih kecil bila latihan dilakukan dalam fatigue, sehingga protokol sebaiknya meniru kondisi pertandingan [51].

Latihan proprioseptif memicu adaptasi neuroplastik dari perifer hingga kortikal yang meningkatkan koordinasi, kontrol postural, dan menurunkan risiko cedera [25]. Review sistematik melaporkan perbaikan proprioepsi 23–43% dan kinerja motorik $\sim 45\%$ [25]. Studi intervensi menunjukkan peningkatan excitability corticospinal 15–100% (rerata $\sim 60\%$) [53]. Mekanisme meliputi peningkatan akurasi sinyal aferen, modulasi refleks spinal, dan penguatan feedforward control [27]. Efek fungsional tampak pada kenaikan SEBT/YBT beberapa cm, penurunan time-to-stabilization, serta penurunan insiden cedera [25][27]. Program task-oriented membangun adaptasi neural yang bertahan dan menurunkan risiko rekuren [54]. Namun, heterogenitas protokol, populasi, dan outcome membuat estimasi bervariasi [55]. RCT jangka panjang dengan biomarker neurofisiologis masih dibutuhkan untuk pemetaan plastisitas protektif [27].

Implementasi Proprioceptive Training pada Atlet

Latihan wobble board terbukti efektif mengurangi gejala instabilitas pergelangan kaki [56]. Studi lain melaporkan bahwa latihan wobble board dengan atau tanpa tugas kognitif meningkatkan proprioepsi dan keseimbangan dinamis, meskipun tambahan tugas kognitif tidak memberikan hasil lebih unggul [57]. Wobble board juga disebut sebagai komponen utama rehabilitasi CAI karena konsisten memperbaiki kontrol postural [58]. Dari aspek neuromuskular, Choi menunjukkan bahwa variasi posisi kaki saat latihan dapat mengoptimalkan aktivasi otot peroneus [59]. Studi lain menemukan bahwa program latihan keseimbangan selama empat minggu meningkatkan

keseimbangan secara signifikan [60]. Sinulingga melaporkan bahwa kombinasi wobble board, proprioseptif, dan pliometrik pada atlet meningkatkan keseimbangan, mobilitas ankle, dan performa fisik [61]. Meta-analisis juga menegaskan bahwa latihan proprioseptif, termasuk penggunaan wobble board, memberikan manfaat signifikan terhadap fungsi ankle [62].

Berbagai studi menegaskan efektivitas balance pad dan perangkat tidak stabil dalam rehabilitasi pergelangan kaki. Uygun melaporkan bahwa latihan dengan balance pad standar memperbaiki propriosepsi dan keseimbangan dinamis, dengan efek lebih besar pada sonic balance pad [63]. Studi lain menunjukkan bahwa perangkat keseimbangan secara signifikan meningkatkan fungsi pergelangan kaki dan kontrol postural [64]. Meta-analisis oleh Tang menyatakan bahwa latihan keseimbangan, termasuk di permukaan tidak stabil, efektif meningkatkan keseimbangan dinamis (SEBT) pada pasien CAI, dengan dosis optimal 3 kali seminggu selama 20–30 menit per sesi dalam 4–6 minggu [65]. Studi lain mencatat bahwa permukaan tidak stabil bermanfaat untuk keseimbangan tetapi tidak selalu berdampak pada fungsi hop atau performa eksplosif [64]. Tedeschi menyimpulkan bahwa balance pad atau unstable devices merupakan metode rehabilitasi yang valid dan efektif, terutama bila dikombinasikan dengan latihan penguatan dan latihan proprioseptif [58].

Latihan proprioseptif berbasis single-leg stance terbukti bermanfaat signifikan pada atlet. Yılmaz melaporkan peningkatan performa olahraga terutama keseimbangan statis dan dinamis [66]. Studi lain menunjukkan peningkatan keterampilan fisik dan teknis pada pemain sepak bola muda [67]. Winter menegaskan perbaikan propriosepsi dan fungsi motorik secara konsisten [68]. Shen melaporkan latihan gabungan keseimbangan dan proprioseptif delapan minggu meningkatkan agility dan keseimbangan dinamis pada atlet Taekwondo remaja [69]. Choi menunjukkan single-leg stance dengan proprioceptive feedback training meningkatkan stabilitas pergelangan kaki pada atlet dengan chronic ankle instability [70]. Studi lain menyebut proprioceptive dan balance training efektif mengurangi instabilitas dan meningkatkan performa fungsional pada atlet muda [71]. Francavilla melaporkan program proprioseptif pada pemain bola basket profesional berpotensi menurunkan risiko cedera dan meningkatkan kesiapan fisik [72].

Latihan dynamic stability berbasis single-leg dalam konteks dinamis efektif meningkatkan stabilitas dan kontrol postural ekstremitas bawah pada atlet dan populasi aktif. Pawar & Sutaria (2023) melaporkan bahwa program single-leg balance selama empat minggu pada pemain sepak bola rekreasi secara signifikan meningkatkan skor Y-Balance Test pada kaki non-dominan dibanding kelompok kontrol [73]. Kwon (2024) menemukan bahwa reactive neuromuscular training lebih efektif dibanding latihan konvensional dalam meningkatkan kontrol postural dinamis saat drop-landing satu kaki [74]. Ogasawara (2023) menunjukkan bahwa tugas landing satu kaki yang tak terduga dalam kondisi dual-task dapat memicu adaptasi stabilitas postural, meskipun respons antar individu bervariasi dan sebagian atlet mengalami penurunan postural sway seiring waktu [75]. Ketiga studi ini menegaskan latihan dynamic stability dengan elemen single-leg, terutama bila dipadukan dengan perturbasi atau dual-task, berpotensi meningkatkan stabilitas dan mencegah cedera pada atlet.

Perbandingan Proprioceptive Training dengan Pendekatan Fisioterapi Lain

Proprioceptive training dilaporkan mampu menurunkan insiden cedera, misalnya pada atlet dengan peningkatan kemampuan motorik yang mengurangi cedera berulang [76]. Data dari penelitian terbaru juga mendukung hal ini, dengan penurunan kejadian sprain melalui penerapan latihan proprioseptif secara teratur [77]. Di lain sisi, angka kekambuhan yang mencapai 73% dalam satu tahun pada individu tanpa intervensi dapat ditekan, menjadikannya strategi pencegahan yang lebih komprehensif untuk kasus baru dan rehabilitasi pasca cedera [78]. Intervensi *strengthening exercise* yang menekankan peningkatan kekuatan otot pergelangan kaki juga dilaporkan dapat menurunkan angka *ankle sprain*, akan tetapi relatif terbatas [79]. Bahkan pada atlet dengan riwayat *sprain*, *strengthening exercise* saja tidak cukup untuk mengurangi risiko kekambuhan [80].

Keunggulan *proprioceptive training* terlihat pada adaptasi *neuromuscular* atlet yang dilaporkan berkaitan dengan penurunan risiko cedera berulang [81]. Hal tersebut berbeda dengan *taping* atau *bracing* yang menyediakan stabilitas eksternal dengan efektivitas jangka panjang yang beragam. Penelitian oleh Naderifar pada tahun 2024, menunjukkan bahwa *bracing* tidak selalu menurunkan insiden *ankle sprain* dibandingkan kelompok tanpa intervensi [82]. Terlebih beberapa atlet melaporkan ketidaknyamanan yang dapat mengganggu performa. Perbandingan langsung mengindikasikan bahwa meskipun *bracing* berguna sebagai pencegahan awal, akan tetapi *proprioceptive training* menawarkan manfaat yang lebih superior [76].

Pun demikian, kombinasi antara *proprioceptive training* dan *strengthening exercise* dilaporkan konsisten dalam meningkatkan refleks protektif pergelangan kaki, sehingga berkorelasi juga terhadap penurunan angka kejadian *ankle sprain* [79]. Penelitian oleh Jerez-Mayorga juga menegaskan bahwa kombinasi keduanya tidak hanya memperbaiki kekuatan, tetapi juga koordinasi, stabilitas, dan respons [83]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa kelemahan otot peroneus merupakan prediktor kuat terjadinya cedera, sementara integrasi intervensi secara signifikan mengurangi ketidakstabilan pergelangan kaki [84]. Disisi lain, *bracing* telah lama digunakan pada fase kompetitif karena memberikan stabilisasi mekanis dan proteksi instan terhadap risiko cedera, serta dilaporkan mampu menurunkan insiden *lateral ankle sprain* dengan membatasi gerakan berlebih [85].

Meskipun memberikan manfaat proteksi cepat, ketergantungan pada *bracing* tanpa diiringi *proprioceptive training* dan *strengthening exercise* tidak mendukung adaptasi fungsional jangka panjang [86]. Beberapa penelitian bahkan menekankan bahwa efek proteksi mekanis dari *bracing* cenderung menurun apabila tidak diimbangi dengan latihan kekuatan otot dan fungsi sensorimotor [87]. Protokol multikomponen terbukti menurunkan insiden serta tingkat keparahan cedera pada atlet, sekaligus memperbaiki fungsi sensorimotor bagi stabilitas dan koordinasi sendi [88]. Sintesis akhir menekankan bahwa *bracing* sebaiknya diposisikan sebagai pendekatan suplementer, sedangkan adaptasi jangka panjang bergantung pada latihan terstruktur [89]. Hal ini sejalan dengan temuan bahwa *dry needling* memang efektif menurunkan nyeri MTrPs otot upper trapezius, namun pemulihan fungsi optimal tetap membutuhkan penguatan dan latihan sensorimotor [90]. Pada saat yang sama, intervensi latihan seperti plyometric terbukti meningkatkan kekuatan otot, efisiensi neuromuskular, serta koordinasi gerak, sehingga mendukung stabilitas sendi dan pencegahan cedera [91]. Dengan demikian, kombinasi terapi nyeri dan program latihan terarah memberikan dasar yang lebih kuat bagi adaptasi fungsional jangka panjang [90][91].

4. PEMBAHASAN

Ankle sprain merupakan cedera muskuloskeletal paling sering pada atlet dengan angka kejadian tinggi di berbagai cabang olahraga, terutama basket, sepak bola, dan futsal [15][20]. Tingginya prevalensi ini berhubungan dengan karakteristik biomekanik sendi pergelangan kaki yang rentan mengalami inversi, menyebabkan kerusakan progresif dari ATFL, CFL, hingga PTFL [12][13]. Dampaknya tidak hanya terbatas pada nyeri akut dan keterbatasan aktivitas, tetapi juga risiko jangka panjang berupa chronic ankle instability (CAI), penurunan performa, dan kualitas hidup yang lebih rendah [3][23][24]. Oleh karena itu, strategi preventif dan rehabilitatif menjadi krusial untuk menekan angka kekambuhan yang dilaporkan mencapai 73% dalam satu tahun tanpa intervensi [78].

Salah satu pendekatan yang mendapat perhatian besar adalah proprioceptive training, mengingat gangguan propriosepsi menjadi faktor risiko utama CAI. Cedera ligamen pergelangan kaki terbukti menurunkan input sensorimotor, yang memicu instabilitas postural dan defisit neuromuskular [30][39][40]. Latihan proprioseptif mampu memperbaiki gangguan ini melalui stimulasi reseptor perifer (muscle spindle, GTO, dan reseptor ligamen) serta adaptasi sentral pada korteks sensorimotor [25][27][28]. Meta-analisis RCT menunjukkan latihan ini menurunkan risiko sprain hingga 38% sekaligus meningkatkan skor fungsional seperti SEBT [36]. Dengan demikian, mekanisme perlindungan terjadi tidak hanya melalui penguatan struktur lokal, tetapi juga reorganisasi neural yang meningkatkan kontrol motorik dan refleks protektif [42][45][46].

Jika dibandingkan dengan intervensi fisioterapi lain, proprioceptive training memiliki keunggulan adaptasi jangka panjang. Strengthening exercise memang berperan penting meningkatkan kekuatan otot peroneus sebagai stabilisator lateral,[41,79] namun bukti menunjukkan bahwa peningkatan kekuatan saja tidak cukup untuk mencegah kekambuhan.[80] Sementara itu, penggunaan brace atau tape memberikan stabilitas mekanis instan, tetapi efektivitas jangka panjangnya masih kontroversial.[82,85] Selain itu, ketergantungan pada proteksi eksternal berisiko mengurangi adaptasi sensorimotor yang diperlukan atlet untuk menghadapi kondisi pertandingan dinamis.[86,87] Dengan demikian, proprioceptive training dipandang sebagai modalitas inti, sedangkan strengthening dan bracing dapat berperan sebagai pelengkap dalam program rehabilitasi maupun pencegahan.[83,88,89]

Implementasi latihan proprioseptif dalam praktik olahraga menunjukkan hasil yang konsisten. Program berbasis wobble board, balance pad, single-leg stance, maupun perturbation training terbukti meningkatkan keseimbangan dinamis, joint position sense, dan kontrol neuromuskular pada atlet dengan maupun tanpa riwayat cedera.[33,49,63,70] Efek positif ini bersifat dosis-respons, dengan latihan 3 kali per minggu selama 20–30 menit dalam 4–6 minggu menunjukkan hasil optimal.[65] Lebih jauh lagi, integrasi elemen dual-task atau kondisi fatigue dinilai lebih mendekati tuntutan pertandingan dan dapat memperkuat transfer adaptasi ke situasi kompetitif.[51,75]

Sintesis dari temuan ini menunjukkan bahwa proprioceptive training merupakan intervensi berbasis bukti yang efektif untuk menurunkan angka kejadian ankle sprain dan mencegah kekambuhan, sekaligus mendukung performa atlet melalui peningkatan kontrol neuromuskular. Kombinasi dengan strengthening exercise memberikan efek protektif yang lebih besar, sementara bracing sebaiknya diposisikan sebagai pendekatan tambahan pada fase kompetitif. Ke depan, diperlukan RCT jangka panjang dengan pemetaan biomarker neurofisiologis untuk memperkuat bukti mengenai mekanisme plastisitas yang mendasari efek protektif latihan ini.[27,55]

5. KESIMPULAN

Ankle sprain merupakan cedera muskuloskeletal dengan prevalensi tinggi pada atlet dan berdampak pada performa serta kualitas hidup akibat risiko kekambuhan dan chronic ankle instability. Gangguan proprioepsi pasca cedera memperburuk kontrol neuromuskular sehingga meningkatkan kerentanan terhadap sprain berulang. Proprioceptive training terbukti efektif memperbaiki joint position sense, meningkatkan keseimbangan, dan menurunkan insiden cedera, bahkan lebih unggul dibandingkan pendekatan tunggal seperti strengthening atau penggunaan brace. Oleh karena itu, integrasi proprioceptive training ke dalam program pencegahan dan rehabilitasi atlet perlu menjadi bagian dari strategi multidisiplin untuk menjaga stabilitas sendi dan mendukung performa. Kombinasi dengan latihan penguatan serta pemantauan individual sesuai cabang olahraga akan memperkuat efek protektif. Penelitian lebih lanjut dengan biomarker neurofisiologis diperlukan untuk mengoptimalkan protokol latihan dan memastikan adaptasi jangka panjang dalam pencegahan ankle sprain pada atlet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada para peneliti yang karyanya dikaji dalam tinjauan ini dan kepada rekan sejawat yang memberikan masukan konstruktif selama penyusunan naskah. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Universitas Udayana atas dukungan fasilitas dan akses literatur yang memfasilitasi kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Leppänen M, Häkkinen K, Pasanen K, et al. Players with high physical fitness are at greater risk of injury in youth football. *Scand J Med Sci Sports*. 2022;32(11):1625-1638. <https://doi.org/10.1111/sms.14199>
- [2] Cheng TTJ, Mansor A, Lim YZ, Parash MT. Injury incidence, patterns, and risk factors in functional training athletes in an Asian population. *Orthop J Sports Med*. 2020;8(10):2325967120957412. <https://doi.org/10.1177/2325967120957412>
- [3] Owøye OBA, Whittaker JL, Toomey CM, Räsänen AM, Jaremko JL, Carlesso LC, Manske SL, Emery CA. Health-Related Outcomes 3-15 Years Following Ankle Sprain Injury in Youth Sport: What Does the Future Hold? *Foot Ankle Int*. 2022;43(1):21-31. <https://doi.org/10.1177/10711007211033543>
- [4] Wilczyński B, Cabaj P, Biały M, Zorena K. Impact of lateral ankle sprains on physical function, range of motion, isometric strength and balance in professional soccer players. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 2024;10(4):e002293. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2024-002293>
- [5] Berkey R, Sunesara A, Allen L, Pontiff R, DeVries A, Fisher SR. Ankle Injury Prevention Programs for Youth Sports: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health*. 2024;16(6):1029-1037. <https://doi.org/10.1177/19417381241231588>
- [6] Wagemans J, Bleakley CM, Taeymans J, Kuppens K, Schurz A, Baur H, Vissers D. Rehabilitation strategies for lateral ankle sprain do not reflect established mechanisms of re-injury: A systematic review. *Phys Ther Sport*. 2023;60:75-83. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2023.01.008>
- [7] Megalaa T, Hiller CE, Ferreira GE, Beckenkamp PR, Pappas E. The effect of ankle supports on lower limb biomechanics during functional tasks: A systematic review with meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2022;25(7):615-630. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2022.02.008>
- [8] MT Prehab J. Effectiveness of proprioceptive training in athletes with and without ankle instability: systematic review. 2022;20:1277. <https://doi.org/10.17784/mtprehabjournal.2022.20.1277>
- [9] Yılmaz O, Soylu Y, Erkmen N, Kaplan T, Batalik L. Effects of proprioceptive training on sports performance: a systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2024;16(1):149. <https://doi.org/10.1186/s13102-024-00936-z>
- [10] MJ Orthop. Ankle sprains: a review of mechanism, pathoanatomy and management. 2024;38(1):25-34. <https://doi.org/10.1016/j.mporth.2023.11.005>
- [11] Yang Y, Wu U, Zhu W. Recent advances in the management of chronic ankle instability. 2024;28:35-42. <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2024.07.01>

- [12] Gaddi D, Mosca A, Piatti M, Munegato D, Catalano M, Di Lorenzo G, Turati M, Zanchi N, Piscitelli D, Chui K, Zatti G, Bigoni M. Acute ankle sprain management: an umbrella review of systematic reviews. *Front Med*. 2022;9:868474. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.868474>
- [13] Nakasa T, Ikuta Y, Kawabata S, Sakurai S, Moriwaki D, Ishibashi S, Silan AA, Adachi N. Clinical significance of posterior talofibular ligament injury in chronic lateral ankle instability. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2024 Nov;144(11):5021-30. <https://doi.org/10.1007/s00402-024-05598-7>
- [14] Russell JA, McEwan IM. Epidemiology and management of ankle sprain injuries over seven seasons in an elite professional ballet company. *J Sci Med Sport*. 2024 Mar;27(3):174-81. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.11.014>
- [15] Juniarto R, Nurcahyadi D, Hadi H. The relationship between ankle proprioception and balance in athletes: A cross-sectional study. *J Sport Med Technol*. 2025;8(1):12–20. <https://doi.org/10.29328/journal.jsmt.1001052>
- [16] Bsoul N, Ning L, Cai L, Mazmany D, Porter D. Evidence-based clinical practice guidelines for the management of acute ankle injuries according to: a PRISMA systematic review and quality appraisal with AGREE II. *BMC Musculoskelet Disord*. 2024;25:765. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07655-z>
- [17] Liu Z, Yamaguchi R, Fu S, Zhao H, Li Y, Kobayashi Y, et al. Epidemiology of ankle sprain and chronic ankle instability in elite adolescent dancesport athletes. *Phys Sportsmed*. 2025;53(8):1–9. <https://doi.org/10.1080/00913847.2024.2418283>
- [18] Daga ACT, Yuliana, Karmaya INM, Wardana ING. Prevalensi ankle sprain pada pemain sepak bola Neo Waimangura di Nusa Tenggara Timur tahun 2018–2020. *Jurnal Medika Udayana*. 2023 Mei;12(5). [Internet]. Available at: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/eum/article/download/81516/49834>
- [19] Santoso PM, Tinduh D, Chilmi MZ. Event Profile of Ankle Sprain Injury at Athletes in East Java Puslatda. *Surabaya Phys Med Rehabil J*. 2024;6(2):122–133. <https://doi.org/10.20473/spmrj.v6i2.42074>
- [20] Santos TRT. Entorse no tornozelo em jovens atletas: Um estudo retrospectivo de 2 anos em um clube multiesportivo. *Rev Bras Ortop*. 2022;57(6):1001–1008. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1742340>
- [21] Dolan P. Risk factors for acute ankle sprains in field-based, team contact sports: A systematic review. *Phys Sportsmed*. 2023;51(4):1–8. <https://doi.org/10.1080/00913847.2022.2093618>
- [22] Flore Z, et al. Time-loss and recurrence rate of lateral ankle sprains in male professional football players depending on the severity grade: Do we trivialize LAS? *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2025;11(1):e002271. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2024-002271>
- [23] Elabd OM, Elabd AM, Abd El-Azez MS, Taha MM, Mohammed AH. Impact of chronic ankle instability on gait loading strategy in individuals with chronic ankle instability: A comparative study. *J Neuroeng Rehabil*. 2024;21(1):185. <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01478-8>
- [24] Alanazi A. Predictors of chronic ankle instability among soccer players. *Medicina (Kaunas)*. 2025;61(4):555. <https://doi.org/10.3390/medicina61040555>
- [25] Seo HG, Yun SJ, Farrens AJ, Johnson CA, Reinkensmeyer DJ. A Systematic Review of the Learning Dynamics of Proprioception Training: Specificity, Acquisition, Retention, and Transfer. *Neurorehabil Neural Repair* [Internet]. 2023 Oct 21;37(10):744–57. Available from: 1. <https://doi.org/10.1177/15459683231207354>
- [26] Salamanna F, Caravelli S, Marchese L, Carniato M, Vocale E, Gardini G, et al. Proprioception and Mechanoreceptors in Osteoarthritis: A Systematic Literature Review. *J Clin Med* [Internet]. 2023 Oct 19;12(20):6623. Available from: 2. <https://doi.org/10.3390/jcm12206623>
- [27] Yılmaz O, Soylu Y, Erkmén N, Kaplan T, Batalik L. Effects of proprioceptive training on sports performance: a systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil* [Internet]. 2024 Jul 4;16(1):149. Available from: 3. <https://doi.org/10.1186/s13102-024-00936-z>
- [28] Dimitriou M. Human muscle spindles are wired to function as controllable signal-processing devices. *Elife* [Internet]. 2022 Jul 13;11. Available from: 4. <https://doi.org/10.7554/eLife.78091>
- [29] Oliver KM, Florez-Paz DM, Badea TC, Mentis GZ, Menon V, de Noij JC. Molecular correlates of muscle spindle and Golgi tendon organ afferents. *Nat Commun* [Internet]. 2021 Mar 1;12(1):1451. Available from: 5. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21880-3>

- [30] Dietrich S, Company C, Song K, Lowenstein ED, Riedel L, Birchmeier C, et al. Molecular identity of proprioceptor subtypes innervating different muscle groups in mice. *Nat Commun* [Internet]. 2022 Nov 11;13(1):6867. Available from: 6. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34589-8>
- [31] Kawai-Takaishi M, Hosoyama T. Muscle spindle afferent neurons preferentially degenerate with aging. *Sci Rep* [Internet]. 2025 Jul 4;15(1):23946. Available from: 7. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-08270-1>
- [32] Yekdaneh A, Mutlu ÇY. Effects of Balance and Strength Training for Ankle Proprioception in People with Chronic Ankle Instability: A Randomized Controlled Study. *J Am Podiatr Med Assoc* [Internet]. 2024 May;114(3). Available from: 8. <https://doi.org/10.7547/23-008>
- [33] Lazarou L, Kofotolis N, Pafis G, Kellis E. Effects of two proprioceptive training programs on ankle range of motion, pain, functional and balance performance in individuals with ankle sprain. *J Back Musculoskelet Rehabil* [Internet]. 2018 Jun 22;31(3):437–46. Available from: 9. <https://doi.org/10.3233/BMR-170836>
- [34] Hupperets MDW, Verhagen EALM, Mechelen W v. Effect of unsupervised home based proprioceptive training on recurrences of ankle sprain: randomised controlled trial. *BMJ* [Internet]. 2009 Jul 9;339(jul09 1):b2684–b2684. Available from: 10. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2684>
- [35] Wright CJ, Linens SW, Cain MS. A Randomized Controlled Trial Comparing Rehabilitation Efficacy in Chronic Ankle Instability. *J Sport Rehabil* [Internet]. 2017 Jul;26(4):238–49. Available from: h11. <https://doi.org/10.1123/jsr.2015-0189>
- [36] de Vasconcelos GS, Cini A, Sbruzzi G, Lima CS. Effects of proprioceptive training on the incidence of ankle sprain in athletes: systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil* [Internet]. 2018 Dec 12;32(12):1581–90. Available from: 12. <https://doi.org/10.1177/0269215518788683>
- [37] Harry-Leite P, Paquete M, Teixeira J, Santos M, Sousa J, Fraiz-Brea JA, et al. Acute Impact of Proprioceptive Exercise on Proprioception and Balance in Athletes. *Appl Sci* [Internet]. 2022 Jan 14;12(2):830. Available from: h13. <https://doi.org/10.3390/app12020830>
- [38] Wang Q, Fu H. Relationship between proprioception and balance control among Chinese senior older adults. *Front Physiol* [Internet]. 2022 Dec 15;13. Available from: <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1078087>
- [39] Alghadir A, Iqbal Z, Iqbal A, Ahmed H, Ramteke S. Effect of Chronic Ankle Sprain on Pain, Range of Motion, Proprioception, and Balance among Athletes. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2020 Jul 23;17(15):5318. Available from: 15. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155318>
- [40] Lee JH, Lee SH, Choi GW, Jung HW, Jang WY. Individuals with recurrent ankle sprain demonstrate postural instability and neuromuscular control deficits in unaffected side. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2020 Jan 5;28(1):184–92. Available from: 16. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5190-1>
- [41] Song Q, Zhang X, Mao M, Sun W, Zhang C, Chen Y, et al. Relationship of proprioception, cutaneous sensitivity, and muscle strength with the balance control among older adults. *J Sport Heal Sci* [Internet]. 2021 Sep;10(5):585–93. Available from: 17. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.07.005>
- [42] Haklı Ö, Dincer S, Sahinkaya T, Metin G. Perturbation Training in Young Female Basketball Players: A Randomized Controlled Trial. *Int J Sports Med* [Internet]. 2025 Jul 15; Available from:18. <https://doi.org/10.1055/a-2655-3997>
- [43] Liu X, He M, Hu R, Chen Z. Randomized controlled trial study of intelligent rehabilitation training system for functional ankle instability. *Sci Rep* [Internet]. 2024 Feb 29;14(1):4996. Available from: 19. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55555-y>
- [44] Ahmad I, Verma S, Noohu MM, Shareef MY, Hussain ME. Sensorimotor and gait training improves proprioception, nerve function, and muscular activation in patients with diabetic peripheral neuropathy: a randomized control trial. *J Musculoskelet Neuronal Interact* [Internet]. 2020 Jun 1;20(2):234–48. Available from: 20. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7288382/>
- [45] Yalfani A, Azizian M, Gholami-Borujeni B. Adding Neurofeedback Training to Neuromuscular Training for Rehabilitation of Chronic Ankle Instability: A 3-Arm Randomized Controlled Trial. *Sport Heal A Multidiscip Approach* [Internet]. 2024 Sep 27;16(5):797–807. Available from: 21. <https://doi.org/10.1177/19417381231219198>
- [46] Wang P, Liu Y, Chen C. Effects of neuromuscular training on dynamic balance ability in athletes: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon* [Internet]. 2024 Aug;10(16):e35823. Available from: 22. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35823>

- [47] Ackerley R, Samain-Aupic L, Ribot-Ciscar E. Passive Proprioceptive Training Alters the Sensitivity of Muscle Spindles to Imposed Movements. *eneuro* [Internet]. 2022 Jan;9(1):ENEURO.0249-21.2021. Available from: 23. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0249-21.2021>
- [48] Fakontis C, Iakovidis P, Kasimis K, Lytras D, Koutras G, Fetlis A, et al. Efficacy of resistance training with elastic bands compared to proprioceptive training on balance and self-report measures in patients with chronic ankle instability: A systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport* [Internet]. 2023 Nov;64:74–84. Available from: 24. <https://doi.org/10.1016/j.pts.2023.09.009>
- [49] Taghavi Asl A, Shojaedin SS, Hadadnezhad M. Comparison of effect of wobble board training with and without cognitive intervention on balance, ankle proprioception and jump landing kinetic parameters of men with chronic ankle instability: a randomized control trial. *BMC Musculoskelet Disord* [Internet]. 2022 Sep 30;23(1):888. Available from: 25. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05706-x>
- [50] Antohe BA, Panaet EA. The Effects of Proprioceptive Exercises on Postural Control in Handball Players with Chronic Ankle Instability—A Non-Randomized Control Trial. *Sports* [Internet]. 2024 Nov 11;12(11):304. Available from: 26. <https://doi.org/10.3390/sports12110304>
- [51] Keller M, Lichtenstein E, Roth R, Faude O. Balance Training Under Fatigue: A Randomized -ct of Fatigue on Adaptations to Balance Training. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2024 Feb;38(2):297–305. Available from: 27. <https://doi.org/10.3390/sports12110304>
- [52] Lee UY, Joo CH. The effects of proprioceptive exercise training on physical fitness and performance of soccer skills in young soccer players. *J Exerc Rehabil* [Internet]. 2024 Feb 21;20(1):34–41. Available from: 28. <https://doi.org/10.12965/jer.2346628.314>
- [53] Winter L, Huang Q, Sertic JVL, Konczak J. The Effectiveness of Proprioceptive Training for Improving Motor Performance and Motor Dysfunction: A Systematic Review. *Front Rehabil Sci* [Internet]. 2022 Apr 8;3. Available from: 29. <https://doi.org/10.3389/fresc.2022.830166>
- [54] Hu N, Piirainen JM, Kidgell DJ, Walker S, Avela J. Corticospinal Adaptation to Short-Term Horizontal Balance Perturbation Training. *Brain Sci* [Internet]. 2023 Aug 15;13(8):1209. Available from: 30. <https://doi.org/10.3390/brainsci13081209>
- [55] Gordon T, Jeanfavre M, Leff G. Effects of Tempo-Controlled Resistance Training on Corticospinal Tract Plasticity in Healthy Controls: A Systematic Review. *Healthcare* [Internet]. 2024 Jul 2;12(13):1325. Available from: 31. <https://doi.org/10.3390/healthcare12131325>
- [56] Wright CJ, Nauman SL, Bosh JC. Wobble-Board Balance Intervention to Decrease Symptoms and Prevent Reinjury in Athletes With Chronic Ankle Instability: An Exploration Case Series. *Journal of Athletic Training*. 2020;55(1):42–48. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-346-18>
- [57] Taghavi Asl A, Shojaedin SS, Hadadnezhad M. Comparison of effect of wobble board training with and without cognitive intervention on balance, ankle proprioception and jump landing kinetic parameters of men with chronic ankle instability: a randomized control trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022; 23:888. *BioMed Central*. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05706-x>.
- [58] Tedeschi R, Ricci V, Tarantino D, Tarallo L, Catani F, Donati D. Rebuilding Stability: Exploring the Best Rehabilitation Methods for Chronic Ankle Instability. *Sports (Basel)*. 2024;12(10):282. <https://doi.org/10.3390/sports12100282>
- [59] Choi JH, Cynn HS, Baik SM, Kim SH. Effect of foot position on ankle muscle activity during wobble board training in individuals with chronic ankle instability. *J Manipulative Physiol Ther*. 2024; 47:134. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2024.09.007>
- [60] Abdelmohsen AM, Elhafez SM, Youssef NM. Balance training improves static and dynamic postural stability in chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *Bull Fac Phys Ther*. 2025; 30:25. <https://doi.org/10.1186/s43161-025-00282-2>
- [61] Sinulingga AR, Slaidiņš K, Salajeva A, Liepa A, Pontaga I. Effect of Integrative Balance and Plyometric Training on Balance, Ankle Mobility, and Jump Performance in Youth Football Players: A Randomized Controlled Trial. *Phys Act Health*. 2025;9(1):146–60. <https://doi.org/10.5334/paah.472>
- [62] Liu Y, Li Y, Zhang Y, et al. Effects of Ankle Stabilization Exercises Using Sonic Balance Pad on Proprioception and Balance in Subjects with Ankle Instability. *Healthcare (Basel)*. 2023;11(18):2544. <https://doi.org/10.3390/healthcare11182544>

- [63] Tang, F., dkk. 2024. Meta-Analysis of the Dosage of Balance Training on Ankle Function in Patients with Chronic Ankle Instability. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25(1): 689. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07800-8>.
- [64] Asl, A.T., Shojaedin, S.S., dan Hadadnezhad, M. 2022. Comparison of Effect of Wobble Board Training With and Without Fixation on Chronic Ankle Instability Patients. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 23: 889. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05706-x>.
- [65] Fang T, Xiang M, Yin S, Li X, Gao P. Meta-analysis of the dosage of balance training on ankle function and dynamic balance ability in patients with chronic ankle instability. *BMC Musculoskelet Disord*. 2024;25(1):1. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07800-8>
- [66] Yilmaz O, Soylu Y, Erkmen N, Kaplan T, Batalik L. Effects of proprioceptive training on sports performance: a systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2024; 16:149. <https://doi.org/10.1186/s13102-024-00936-z>
- [67] Lee UY, Joo CH. The effects of proprioceptive exercise training on physical fitness and performance of soccer skills in young soccer players. *J Exerc Rehabil*. 2024;20(1):34–41. <https://doi.org/10.12965/jer.2346628.314>
- [68] Winter L, Huang Q, Sertic JVL, Konczak J. The Effectiveness of Proprioceptive Training for Improving Motor Performance and Motor Dysfunction: A Systematic Review. *Front Rehabil Sci*. 2022; 3:830166. <https://doi.org/10.3389/fresc.2022.830166>
- [69] Shen X. The effect of 8-week combined balance and plyometric on the dynamic balance and agility of female adolescent taekwondo athletes. *Medicine*. 2024;103(10): e37359. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000037359>
- [70] Choi H, Kim H, You JSH. Chronic ankle instability national athletes: a single-blinded randomized controlled trial. *Int J Appl Electromagn Mech*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0219519424400402>
- [71] Prasad P, Vishwanath S. Influence of proprioception and balance training program on ankle instability among young athletes. *Saudi J Sports Med*. 2023;23(3):70-76. https://doi.org/10.4103/sjsm.sjsm_15_23
- [72] Francavilla VC, Messina G, Mingrino O, Parisi MC, Di Corrado D. Effects of a specific proprioceptive training program on injury prevention and stress in basketball players: A pilot study. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2025;10(2):226. <https://doi.org/10.3390/jfmk10020226>
- [73] Pawar H, Sutaria J. Effect of Single Leg Balance Training Program on Dynamic Balance in Recreational Football Players - An Interventional Study. *International Journal of Health Sciences and Research*. 2023;13(11):29-35. <https://doi.org/10.52403/ijhsr.20231106>
- [74] Kwon J, Ha S, Lee I, Kim SJ, Lee SY. Reactive Neuromuscular Training and Dynamic Lower Extremity Postural Control: A Single-Blind Randomized Control Trial. *Korean Journal of Anesthesiology and Biomechanics*. 2024;34(3):133. <https://doi.org/10.5103/KJAB.2024.34.3.133>
- [75] Ogasawara I, Revankar GS, Konda S, Matsuo T, Aoyama C, Nakata K. Individual Variation in Adaptive Ability of the Anticipated Postural Stability During a Dual-Task Single-Leg Landing in Female Athletes. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2023 Jul;11(7):1-10. <https://doi.org/10.1177/23259671231177312>
- [76] Yoon, S.W., Ha, G.C., Ko, K.J., & Kim, J.D. The Effect of Proprioceptive Training Program on Joint Position Senses, Balance Ability and Agility of Male Volleyball Players. *Sport Science and Applied Technology*. 2022;10(6):1232-44. <https://doi.org/10.13189/saj.2022.100615>
- [77] Zou, Y., Zhang, A., Zhang, Q., Zhang, B., Wu, X., & Qin, T. Design and Experimental Research of 3-RRS Parallel Ankle Rehabilitation Robot. *Micromachines*. 2022;13(6):950. <https://doi.org/10.3390/mi13060950>
- [78] Ma, M. Injury Incidence, Risk Factors, Prevalence and Rehabilitation of Injuries of Ankles in Professional Basketball Players. *Health Science and Engineering Technology*. 2023; 30:54-60. <https://doi.org/10.54097/hset.v30i.4950>
- [79] Wang, F., Guan, Y., Bamber, Z., Cao, X., Qi, Q., Niu, W., et al. Preventive interventions for lateral ankle sprains: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*. 2023;37(5):585-602. <https://doi.org/10.1177/02692155221137640>
- [80] Wang, S. Effect of Ankle Proprioceptive Training on Preventing Ankle Injury of Martial Arts Players. *Frontiers in Sport Research*. 2021;3(2):48-55. <https://doi.org/10.25236/FSR.2021.030211>

- [81] Alahmari, K.A., Samuel, P.S., Ahmad, I., et al. Effectiveness of Low-Frequency Stimulation in Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Techniques for Post-Ankle-Sprain Balance and Proprioception in Adults- a Randomized controlled trial [Preprint]. *Research Square*. 2020. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-29932/v1>
- [82] Naderifar, H., Babakhanian, S., Najafi-Vosough, R., & Karimizadeh Ardakani, M. Neuromuscular Control Training is Effective to Prevent Ankle Sprains in Athletes. *Muscle Ligaments and Tendons Journal*. 2024;14(1):188. <https://doi.org/10.32098/mltj.01.2024.16>
- [83] Jerez-Mayorga, D.A., & Villaquiran Hurtado, A.F. Effects of strength training on ankle injuries in soccer players: a systematic review. *Retos*. 2023;49:657-65. <https://doi.org/10.47197/retos.v49.95794>
- [84] Kim, K., Estepa-Gallego, A., Estudillo-Martínez, M.D., Castellote-Caballero, Y., & Cruz-Díaz, D. Comparative Effects of Neuromuscular- and Strength-Training Protocols on Pathomechanical, Sensory-Perceptual, and Motor-Behavioral Impairments in Patients with Chronic Ankle Instability: Randomized Controlled Trial. *Healthcare*. 2022;10(8):1364. <https://doi.org/10.3390/healthcare10081364>
- [85] Halabchi, F., & Hassabi, M. Acute ankle sprain in athletes: Clinical aspects and algorithmic approach. *World Journal of Orthopedics*. 2020;11(12):534-58. <https://doi.org/10.5312/wjo.v11.i12.534>
- [86] Dragičević-Cvjetković, D., Erceg-Rukavina, T., & Nikolić, S. Proprioception recovery after anterior cruciate ligament reconstruction: Isokinetic versus dynamic exercises. *Scripta Medica*. 2021;52(4):289-93. <https://doi.org/10.5937/scriptamed52-35239>
- [87] Raza, A., Liaquat, K., & Saeed, H.S. Comparison of BRACE (balance, resistance, aerobic, cognitive exercises) and proprioceptive training on balance and mobility in knee osteoarthritis. *Professional Medical Journal*. 2022;29(3):303-9. <https://doi.org/10.29309/TPMJ/2022.29.03.6833>
- [88] Barrera, J., Figueiredo, A.J., Clemente, F.M., Field, A., Valenzuela, L., Sarmento, H., et al. Injury Prevention Programmes in Male Soccer Players: An Umbrella Review of Systematic Reviews. *Journal of Men's Health*. 2022;18(10):1-17. <https://doi.org/10.31083/j.jomh1810200>
- [89] Winter, L., Huang, Q., Sertic, J.V.L., & Konczak, J. The Effectiveness of Proprioceptive Training for Improving Motor Performance and Motor Dysfunction: A Systematic Review. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*. 2022;3:830166. <https://doi.org/10.3389/fresc.2022.830166>
- [90] Pratiwi NMD, Utama IKR, Widyadharma IPE. The effect of dry needling therapy on myofascial pain syndrome. *MNJ Malang Neurol J*. 2024;10(2):112-115. <https://doi.org/10.21776/ub.mnj.2024.010.02.04>
- [91] Sinuhaji S, Salsabila A. The comparison of the effect of plyometric depth jump exercise and plyometric box jump exercise on the improvement of leg muscle strength in Diamond volleyball athletes of Medan in 2024. *J Keperawatan Fisioter*. 2025;7(2):236-244. <https://doi.org/10.35451/jkf.v7i2.2639>