



Perbandingan Pengaruh Dosis Kombinasi Ultrasound dan McKenzie terhadap Nyeri, Fleksibilitas, dan Kemampuan Fungsional pada Pasien Nyeri Punggung Bawah

Arief Efendi^{1*}, Nurul Halimah¹, Afrizal Febri Eko Saputra¹, Aril Firzan Syahroni¹

¹ Program Studi Sarjana Fisioterapi, Institut Teknologi Sains dan Kesehatan RS dr. Soepraoen, Malang, Indonesia

INFORMASI

Korespondensi:

ariefefendi@itsk-soepraoen.ac.id

ABSTRACT

Background: Low back pain (LBP) is a common musculoskeletal disorder associated with reduced lumbar flexibility and functional ability. Ultrasound and McKenzie exercise are commonly combined in physiotherapy; however, the optimal exercise dosage remains unclear.

Objective: This study compared the effects of two dosages of combined ultrasound and McKenzie exercise (10 repetitions × 2 sets and 10 repetitions × 3 sets) on pain, flexibility, and functional ability in patients with LBP.

Methods: A quasi-experimental pretest-posttest two-group design was conducted involving 40 patients with LBP aged 25–60 years and symptom duration of 4–24 months. Participants were divided into Group A (2 sets; n = 20) and Group B (3 sets; n = 20). Pain was assessed using the Visual Analogue Scale (VAS), lumbar flexibility using the Modified Schober Test (MST), and functional ability using the Oswestry Disability Index (ODI). Data were analysed using paired-samples and independent-samples t-tests at $\alpha = 0.05$.

Results: Both groups demonstrated significant improvements in VAS, MST, and ODI scores ($p < 0.001$). Group B achieved greater improvements than Group A in delta VAS (3.08 ± 0.44 vs. 2.15 ± 0.40), delta MST (1.41 ± 0.31 vs. 0.86 ± 0.27), and delta ODI (18.20 ± 4.25 vs. 12.40 ± 3.02), with $p < 0.001$ for all outcomes.

Keywords:

Ultrasound; Mckenzie; Low Back Pain; Exercise Dosage; Flexibility

Conclusion: Combining ultrasound with McKenzie exercise at 10 repetitions × 3 sets produced greater reductions in pain and greater improvements in lumbar flexibility and functional ability than the 2-set dosage in patients with LBP.

PENDAHULUAN

Nyeri punggung bawah (low back pain/LBP) adalah salah satu gangguan muskuloskeletal yang paling sering ditemukan pada praktik fisioterapi dan berkontribusi besar terhadap penurunan produktivitas serta kualitas hidup. Secara global, LBP tercatat sebagai penyebab utama years lived with disability (YLD), dengan lebih dari 600 juta kasus prevalen pada tahun 2020 dan diproyeksikan terus meningkat hingga tahun 2050 (GBD 2021 Low Back Pain Collaborators, 2023). Keluhan ini umumnya ditandai dengan nyeri di area lumbosakral yang disertai keterbatasan fleksibilitas lumbal dan penurunan kemampuan melakukan aktivitas fungsional sehari-hari. Berbagai modalitas fisioterapi telah digunakan untuk menangani LBP, di antaranya terapi ultrasound dan latihan McKenzie, sebagaimana direkomendasikan dalam pedoman praktik klinis terkini (George et al., 2021).

Ultrasound bekerja melalui efek termal dan mekanik yang meningkatkan sirkulasi darah lokal, ekstensibilitas jaringan kolagen, serta menurunkan ambang nyeri pada jaringan yang mengalami spasme. Latihan McKenzie merupakan pendekatan mekanikal yang menggunakan gerakan repetitif ekstensi lumbal untuk mengurangi tekanan pada diskus intervertebralis, memperbaiki mobilitas segmental, dan menguatkan otot-otot stabilisator tulang belakang. Kombinasi kedua modalitas ini banyak diterapkan pada praktik klinis, namun dosis latihan McKenzie yang optimal—dalam hal ini jumlah set repetisi—masih menjadi pertanyaan klinis yang relevan untuk diteliti lebih lanjut.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh dua dosis kombinasi ultrasound dan McKenzie, yaitu 10 repetisi $\times$ 2 set dan 10 repetisi $\times$ 3 set, terhadap tiga luaran klinis utama pada pasien LBP: nyeri (diukur dengan Visual Analogue Scale/VAS), fleksibilitas lumbal (diukur dengan Modified Schober Test/MST), dan kemampuan fungsional (diukur dengan Oswestry Disability Index/ODI). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan bukti empiris bagi fisioterapis dalam menentukan dosis latihan McKenzie yang lebih efektif pada penatalaksanaan LBP.

METODE

Penelitian ini menggunakan rancangan quasi-experimental dengan desain pre-test post-test two group design. Populasi penelitian adalah pasien dengan keluhan nyeri punggung bawah yang memenuhi kriteria inklusi, yaitu berusia 25–60 tahun dan mengalami keluhan LBP dengan durasi lebih dari 3 bulan (pada sampel penelitian berkisar 4–24 bulan). Sampel pe-

nelitian berjumlah 40 responden yang dibagi menjadi dua kelompok menggunakan alokasi acak, yaitu Kelompok A ($n=20$) yang menerima kombinasi ultrasound dan McKenzie dengan dosis 10 repetisi $\times$ 2 set, serta Kelompok B ($n=20$) yang menerima kombinasi ultrasound dan McKenzie dengan dosis 10 repetisi $\times$ 3 set.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah dosis kombinasi ultrasound dan McKenzie, sedangkan variabel terikat adalah nyeri, fleksibilitas, dan kemampuan fungsional. Nyeri diukur menggunakan Visual Analogue Scale (VAS) dengan rentang skor 0–10. Fleksibilitas lumbal diukur menggunakan Modified Schober Test (MST) dalam satuan sentimeter. Kemampuan fungsional diukur menggunakan Oswestry Disability Index (ODI) yang terdiri dari 10 domain aktivitas dengan skor 0–5 per domain, dikonversi menjadi persentase disabilitas (0–100%). Pengukuran dilakukan pada dua waktu, yaitu sebelum (pre-test) dan setelah (post-test) rangkaian intervensi.

Data dianalisis menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk yang menunjukkan seluruh data selisih (delta) VAS, MST, dan ODI terdistribusi normal ($p>0,05$). Selanjutnya, perbandingan nilai pre-test dan post-test pada masing-masing kelompok dianalisis menggunakan paired sample t-test, sedangkan perbandingan efektivitas antara Kelompok A dan Kelompok B dianalisis menggunakan independent sample t-test, dengan tingkat kemaknaan $\alpha=0,05$.

HASIL

Karakteristik responden pada kedua kelompok relatif sebanding secara deskriptif, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik responden pada Kelompok A dan Kelompok B

Karakteristik	Kelompok A ($n=20$)	Kelompok B ($n=20$)
Usia (tahun), rerata $\pm$ SD	43,65 $\pm$ 8,57	41,75 $\pm$ 11,11
Durasi keluhan LBP (bulan), rerata $\pm$ SD	15,75 $\pm$ 6,46	15,20 $\pm$ 5,30
Perempuan, n (%)	11 (55,0%)	10 (50,0%)
Laki-laki, n (%)	9 (45,0%)	10 (50,0%)

Tabel 1 menunjukkan bahwa rerata usia, durasi keluhan, dan distribusi jenis kelamin pada kedua kelompok relatif sebanding secara deskriptif. Tidak tampak perbedaan karakteristik dasar yang mencolok antara Kelompok A dan Kelompok B.

Perbandingan nilai pre-test dan post-test pada masing-masing kelompok menunjukkan perbaikan yang

bermakna secara statistik pada ketiga variabel (Tabel 2).

Tabel 2. Perbandingan nilai pretest dan posttest pada masing-masing kelompok

Variabel	Kelompok	Pre ($\bar{x} \pm SD$)	Post ($\bar{x} \pm SD$)	p*
VAS (0–10)	A (2 set)	6,12 $\pm$ 0,70	3,96 $\pm$ 0,74	<0,001
	B (3 set)	6,09 $\pm$ 0,83	3,01 $\pm$ 1,06	<0,001
MST (cm)	A (2 set)	4,13 $\pm$ 0,49	5,00 $\pm$ 0,57	<0,001
	B (3 set)	4,27 $\pm$ 0,47	5,67 $\pm$ 0,53	<0,001
ODI (%)	A (2 set)	47,90 $\pm$ 3,75	35,50 $\pm$ 4,15	<0,001
	B (3 set)	46,40 $\pm$ 5,75	28,20 $\pm$ 7,84	<0,001

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai VAS dan ODI menurun, sedangkan nilai MST meningkat secara bermakna pada kedua kelompok setelah intervensi. Seluruh perbandingan pretest dan posttest menghasilkan $p < 0,001$, yang menunjukkan adanya perubahan signifikan pada nyeri, fleksibilitas lumbal, dan kemampuan fungsional.

Catatan. VAS = Visual Analogue Scale; MST = Modified Schober Test; ODI = Oswestry Disability Index; p berdasarkan *paired-samples t-test*.

Perbandingan besar perbaikan (delta) antara kedua kelompok menunjukkan Kelompok B mengalami perbaikan yang secara statistik lebih besar dibandingkan Kelompok A pada ketiga variabel (Tabel 3).

Tabel 3. Perbandingan perubahan (delta) antara Kelompok A dan Kelompok B

Variabel (Delta)	Kelompok A (2 set)	Kelompok B (3 set)	p*
Visual Analogue Scale (VAS)	2,15 $\pm$ 0,40	3,08 $\pm$ 0,44	<0,001
Modified Schober Test (MST)	0,86 $\pm$ 0,27	1,41 $\pm$ 0,31	<0,001
Oswestry Disability Index (ODI)	12,40 $\pm$ 3,02	18,20 $\pm$ 4,25	<0,001

Tabel 3 menunjukkan bahwa Kelompok B (3 set) memiliki perubahan yang lebih besar dibandingkan Kelompok A (2 set) pada VAS, MST, dan ODI. Perbedaan delta pada ketiga luaran tersebut bermakna secara statistik dengan $p < 0,001$.

Catatan. Nilai p berdasarkan *independent-samples t-test*.

Berdasarkan kategori disabilitas ODI, seluruh responden Kelompok A (100%) berada pada kategori “berat” saat pre-test dan bergeser menjadi 90% “sedang” serta 10% “berat” setelah intervensi. Pada Kelompok B, 85% “berat” dan 15% “sedang” saat pre-test bergeser menjadi 70% “sedang”, 25% “minimal”, dan 5% “berat” setelah intervensi, menegaskan perbaikan fungsional yang lebih besar pada kelompok dosis 3 set.

PEMBAHASAN

Kedua kelompok mengalami penurunan nyeri yang bermakna, dengan penurunan yang lebih besar pada kelompok dosis 3 set. Teori kontrol gerbang nyeri menjelaskan bahwa stimulasi pada serabut saraf berdiameter besar (A β), baik melalui efek mekanik ultrasound maupun gerakan repetitif McKenzie, mengaktifkan interneuron inhibitorik pada substansia gelatinosa kornu dorsalis medula spinalis, sebagaimana diulas kembali dalam kerangka neurokomputasi terkini oleh Fink dan Raffa (2025). Aktivasi interneuron ini menghambat sel proyeksi (T-cell) yang meneruskan sinyal nosiseptif dari serabut A δ dan C, sehingga transmisi impuls nyeri menuju talamus dan korteks somatosensorik berkurang sebelum sempat dipersepsikan sebagai nyeri.

Dengan demikian, “gerbang” nyeri di level spinal tertutup lebih rapat pada kelompok yang menerima stimulasi mekanik repetitif lebih intensif, yaitu Kelompok B dengan jumlah set latihan yang lebih banyak. Efek termal ultrasound meningkatkan suhu jaringan target hingga rentang terapeutik 40–45°C, memicu vasodilatasi lokal, sehingga aliran darah meningkat, metabolisme jaringan dipercepat, dan sisa metabolit pemicu nyeri seperti bradikinin dan prostaglandin lebih cepat tercuci (washout) dari jaringan yang mengalami spasme (Cameron, 2018). Peningkatan suhu jaringan ini turut memperlambat kecepatan konduksi serabut saraf nosiseptif dan menurunkan spasme otot paravertebral, sehingga tekanan mekanis pada nosiseptor di jaringan lunak sekitar lumbal berkurang secara langsung dan ambang nyeri jaringan meningkat. Tin-

jauan sistematis terkini turut melaporkan bahwa terapi ultrasound secara statistik bermakna menurunkan skor VAS pada pasien LBP kronis non-spesifik (Haile et al., 2021), meskipun tinjauan Cochrane menekankan perlunya kombinasi dengan modalitas aktif seperti latihan terapeutik untuk memperoleh efek klinis yang lebih konsisten (Ebadi et al., 2020). Latihan McKenzie yang dilakukan secara repetitif dengan jumlah set yang lebih banyak diduga meningkatkan pelepasan opioid endogen (endorfin) melalui mekanisme exercise-induced hypoalgesia, yaitu penurunan sensitivitas nyeri akibat aktivitas fisik berulang (Wewege & Jones, 2021). Mekanisme ini melibatkan aktivasi jalur inhibisi nyeri desendens dari periaqueductal gray (PAG) menuju rostral ventromedial medulla (RVM) yang selanjutnya menekan transmisi nosiseptif di kornu dorsalis, disertai pelepasan opioid dan neurotransmitter monoaminergik endogen yang meningkat seiring bertambahnya volume latihan (Rice et al., 2019). Efek hypoalgesia ini dilaporkan lebih konsisten muncul pada latihan yang dilakukan secara berulang (repeated bouts) dibandingkan satu kali sesi latihan (Vaegter & Jones, 2020). Semakin banyak jumlah set latihan yang dilakukan, semakin besar pula stimulus terhadap mekanisme analgesia endogen ini, yang sejalan dengan hasil penelitian bahwa Kelompok B (3 set) mengalami penurunan nyeri yang lebih besar dibandingkan Kelompok A (2 set). Efek non-thermal ultrasound berupa kavitasi stabil (stable cavitation) dan acoustic streaming turut berkontribusi terhadap penurunan nyeri melalui peningkatan permeabilitas membran sel dan modulasi kaskade second messenger pada jaringan yang mengalami inflamasi, sehingga mempercepat resolusi proses inflamasi lokal dan menurunkan sensitivitas nosiseptor perifer (Cameron, 2018). Mekanisme mekanik pada level seluler ini bekerja secara independen dari efek termal, sehingga memberikan kontribusi tambahan terhadap penurunan nyeri di luar efek panas dan efek neural yang telah diuraikan sebelumnya.

Kedua kelompok mengalami peningkatan fleksibilitas lumbal, dengan peningkatan yang lebih besar pada kelompok dosis 3 set. Teori viskoelastisitas jaringan kolagen menjelaskan bahwa efek termal ultrasound meningkatkan suhu jaringan kolagen pada ligamen dan fasia lumbal mendekati rentang 40–45°C, sehingga ikatan silang (cross-link) antar-molekul kolagen melemah sementara dan viskositas matriks ekstraselular menurun. Kondisi ini membuat jaringan ikat menjadi lebih ekstensibel dan mampu memanjang (elongasi) lebih besar dengan resistensi yang lebih rendah saat dilakukan gerakan ekstensi lumbal, sekaligus menurunkan risiko microtrauma akibat peregangannya (Cameron, 2018). Prinsip mekanikal McKenzie (Me-

chanical Diagnosis and Therapy) menjelaskan bahwa gerakan ekstensi lumbal repetitif menghasilkan gradien tekanan intradiskal yang mendorong reposisi nukleus pulposus ke arah anterior (fenomena sentralisasi), sehingga mengurangi bulging posterior dan deformasi mekanis pada anulus fibrosus. Berkurangnya deformasi ini menurunkan hambatan mekanis pada segmen gerak lumbal dan memungkinkan lingkup gerak ekstensi yang lebih luas tanpa nyeri protektif yang membatasi gerakan (Hennemann et al., 2025; Lam et al., 2018). Efektivitas metode McKenzie tidak seragam pada seluruh populasi LBP. Tinjauan Cochrane pada LBP nonspesifik (sub)akut melaporkan bahwa manfaatnya terhadap nyeri dan disabilitas kecil atau tidak bermakna secara klinis, sedangkan bukti pada LBP kronis dan pasien dengan directional preference menunjukkan hasil yang lebih mendukung (Almeida et al., 2023; Hayden et al., 2021; Hennemann et al., 2025; Lam et al., 2018; Owen et al., 2020). Teori inhibisi autogenik melalui refleksi Golgi tendon organ menjelaskan bahwa regangan repetitif pada unit muskulotendinosa meningkatkan aktivitas Golgi tendon organ (GTO), yang selanjutnya menghambat aktivitas gamma motor neuron pada kornu anterior medula spinalis melalui interneuron inhibitorik Ib. Penurunan aktivitas motor neuron ini menyebabkan relaksasi otot secara refleksi, sehingga guarding otot paravertebral berkurang dan lingkup gerak sendi lumbal meningkat (Kisner et al., 2018). Jumlah set yang lebih banyak pada Kelompok B memberikan stimulus repetitif yang lebih besar terhadap mekanisme inhibisi ini, sehingga peningkatan fleksibilitas yang dicapai juga lebih besar. Teori peningkatan toleransi regang (stretch tolerance) menjelaskan bahwa perbaikan fleksibilitas tidak semata-mata disebabkan oleh perubahan mekanik pada jaringan ikat, melainkan juga oleh adaptasi neurosensorik berupa peningkatan ambang toleransi terhadap sensasi regang saat otot dan fasia diperpanjang secara repetitif (Ingram et al., 2025). Semakin sering gerakan ekstensi diulang, semakin besar pula adaptasi toleransi regang yang terjadi, sehingga responden pada Kelompok B mampu mencapai lingkup gerak yang lebih luas pada tingkat ketidaknyamanan yang sama.

Kedua kelompok mengalami perbaikan kemampuan fungsional, dengan perbaikan yang lebih besar pada kelompok dosis 3 set. Model biopsikososial disabilitas menjelaskan bahwa kemampuan fungsional bukan semata-mata cerminan status patologi jaringan, melainkan hasil interaksi antara faktor fisik (nyeri, mobilitas), psikologis, dan sosial. Penurunan nyeri dan peningkatan mobilitas lumbal mengurangi hambatan fisik untuk melakukan aktivitas seperti membungkuk, duduk, dan mengangkat beban, sehingga responden

yang mengalami penurunan nyeri dan peningkatan fleksibilitas yang lebih besar—sebagaimana pada Kelompok B—akan menunjukkan perbaikan aktivitas fungsional yang lebih besar pula (Koivunen et al., 2024). Teori mechanical diagnosis and therapy (MDT) McKenzie menjelaskan bahwa latihan sesuai directional preference (dalam hal ini ekstensi) mengurangi derangement diskogenik yang mendasari keterbatasan aktivitas melalui reduksi tekanan pada struktur diskogenik dan saraf yang teriritasi, sehingga toleransi terhadap posisi duduk, berdiri, dan mengangkat beban meningkat seiring berkurangnya derangement tersebut (Hennemann et al., 2025). Hal ini sejalan dengan pedoman praktik klinis terbaru yang merekomendasikan latihan aktif, termasuk pendekatan berbasis directional preference, sebagai intervensi lini pertama untuk memperbaiki kapasitas fungsional pasien LBP (George et al., 2021). Teori penguatan otot stabilisator tulang belakang (deconditioning reversal) menjelaskan bahwa pasien LBP kronis umumnya mengalami de-kondisi otot ekstensor lumbal dan otot-otot core akibat inaktivitas yang dipicu oleh nyeri. Latihan McKenzie yang dilakukan secara repetitif turut melatih daya tahan dan kekuatan otot-otot tersebut, sehingga kapasitas fisik untuk melakukan aktivitas sehari-hari meningkat (Kisner et al., 2018). Dosis latihan yang lebih tinggi (3 set) memberikan beban latihan (training load) yang lebih besar terhadap otot-otot stabilisator ini, sejalan dengan prinsip dosis-respons pada latihan terapeutik, sehingga perbaikan ODI pada Kelompok B lebih besar dibandingkan Kelompok A. Model fear-avoidance menjelaskan bahwa keterbatasan fungsional pada LBP tidak hanya disebabkan oleh faktor mekanik, tetapi juga oleh kinesiophobia, yaitu ketakutan berlebihan terhadap gerakan yang dipersepsikan dapat memperparah cedera atau nyeri (Vlaeyen et al., 2016). Penurunan intensitas nyeri yang konsisten selama program latihan menurunkan persepsi ancaman terhadap gerakan, sehingga responden—khususnya pada Kelompok B dengan penurunan nyeri yang lebih besar—menjadi lebih percaya diri dan lebih bersedia melakukan aktivitas yang sebelumnya dihindari, yang pada akhirnya turut berkontribusi terhadap perbaikan skor ODI.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah set latihan McKenzie dari 2 set menjadi 3 set memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap penurunan nyeri, peningkatan fleksibilitas, dan perbaikan kemampuan fungsional pada pasien LBP, sejalan dengan prinsip dosis-respons (dose-response relationship) pada latihan terapeutik yang menyatakan bahwa peningkatan volume latihan dalam batas toleransi jaringan dapat menghasilkan adaptasi fisiologis yang lebih optimal (Kisner et al.,

2018).

KESIMPULAN

Kombinasi ultrasound dan latihan McKenzie dengan dosis 10 repetisi × 3 set memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan dosis 10 repetisi × 2 set terhadap penurunan nyeri, peningkatan fleksibilitas lumbal, dan perbaikan kemampuan fungsional pada pasien nyeri punggung bawah.

SARAN

Fisioterapis disarankan mempertimbangkan penggunaan dosis latihan McKenzie yang lebih tinggi (3 set) dalam protokol penanganan LBP, dengan tetap memperhatikan toleransi dan respons individu pasien. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sampel yang lebih besar, kelompok kontrol tanpa intervensi, variasi dosis lain (misalnya frekuensi sesi per minggu), serta follow-up jangka panjang untuk menilai efek yang lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Almeida, M. O., Narciso Garcia, A., Menezes Costa, L. C., van Tulder, M. W., Lin, C.-W. C., & Machado, L. A. C. (2023). The McKenzie method for (sub)acute non-specific low back pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2023(4), Article CD009711. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009711.pub2>
- Cameron, M. H. (2018). *Physical agents in rehabilitation: An evidence-based approach to practice* (5th ed.). Elsevier.
- Ebadi, S., Henschke, N., Forogh, B., Nakhostin Ansari, N., van Tulder, M. W., Babaei-Ghazani, A., & Fallah, E. (2020). Therapeutic ultrasound for chronic low back pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2020(7), Article CD009169. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009169.pub3>
- Fink, W., & Raffa, R. B. (2025). A pluripotent progression of the gate control system theory of pain: Modeling ascending and descending pain pathways as a Lotka-Volterra coupled control and feedback loop. *Journal of Pain Research*, 18, 4373–4385. <https://doi.org/10.2147/JPR.S525449>
- GBD 2021 Low Back Pain Collaborators. (2023). Global, regional, and national burden of low back pain, 1990–2020, its attributable risk factors, and projections to 2050: A systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Rheumatology*, 5(6), e316–e329. [https://doi.org/10.1016/S2665-9913\(23\)00098-X](https://doi.org/10.1016/S2665-9913(23)00098-X)
- George, S. Z., Fritz, J. M., Silfies, S. P., Schneider, M.

- J., Beneciuk, J. M., Lentz, T. A., Gilliam, J. R., Hendren, S., & Norman, K. S. (2021). Interventions for the management of acute and chronic low back pain: Revision 2021. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 51(11), CPG1–CPG60. <https://doi.org/10.2519/jospt.2021.0304>
- Haile, G., Hailemariam, T. T., & Haile, T. G. (2021). Effectiveness of ultrasound therapy on the management of chronic non-specific low back pain: A systematic review. *Journal of Pain Research*, 14, 1251–1257. <https://doi.org/10.2147/JPR.S277574>
- Hayden, J. A., Ellis, J., Ogilvie, R., Malmivaara, A., & van Tulder, M. W. (2021). Some types of exercise are more effective than others in people with chronic low back pain: A network meta-analysis. *Journal of Physiotherapy*, 67(4), 252–262. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2021.09.004>
- Hennemann, V., Ziegelmann, P. K., Marcolino, M. A. Z., & Duncan, B. B. (2025). The McKenzie Method delivered by credentialed therapists for chronic low back pain with directional preference: Systematic review with meta-analysis. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 33(2), 96–111. <https://doi.org/10.1080/10669817.2024.2408084>
- Ingram, L. A., Tomkinson, G. R., d'Unienville, N. M. A., Gower, B., Gleadhill, S., Boyle, T., & Bennett, H. (2025). Mechanisms underlying range of motion improvements following acute and chronic static stretching: A systematic review, meta-analysis and multivariate meta-regression. *Sports Medicine*, 55(6), 1449–1466. <https://doi.org/10.1007/s40279-025-02204-7>
- Kisner, C., Colby, L. A., & Borstad, J. (2018). *Therapeutic exercise: Foundations and techniques* (7th ed.). F. A. Davis.
- Koivunen, K., Widbom-Kolhanen, S., Pernaa, K., Arokoski, J., & Saltychev, M. (2024). Reliability and validity of Oswestry Disability Index among patients undergoing lumbar spinal surgery. *BMC Surgery*, 24(1), Article 13. <https://doi.org/10.1186/s12893-023-02307-w>
- Lam, O. T., Strenger, D. M., Chan-Fee, M., Pham, P. T., Preuss, R. A., & Robbins, S. M. (2018). Effectiveness of the McKenzie method of mechanical diagnosis and therapy for treating low back pain: Literature review with meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 48(6), 476–490. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.7562>
- Owen, P. J., Miller, C. T., Mundell, N. L., Verswijveren, S. J. J. M., Tagliaferri, S. D., Brisby, H., Bowe, S. J., & Belavy, D. L. (2020). Which specific modes of exercise training are most effective for treating low back pain? Network meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 54(21), 1279–1287. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100886>
- Rice, D., Nijs, J., Kosek, E., Wideman, T., Hasenbring, M. I., Koltyn, K., Graven-Nielsen, T., & Polli, A. (2019). Exercise-induced hypoalgesia in pain-free and chronic pain populations: State of the art and future directions. *The Journal of Pain*, 20(11), 1249–1266. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2019.03.005>
- Vaegter, H. B., & Jones, M. D. (2020). Exercise-induced hypoalgesia after acute and regular exercise: Experimental and clinical manifestations and possible mechanisms in individuals with and without pain. *Pain Reports*, 5(5), Article e823. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000823>
- Vlaeyen, J. W. S., Crombez, G., & Linton, S. J. (2016). The fear-avoidance model of pain. *Pain*, 157(8), 1588–1589. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000574>
- Wewege, M. A., & Jones, M. D. (2021). Exercise-induced hypoalgesia in healthy individuals and people with chronic musculoskeletal pain: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Pain*, 22(1), 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2020.04.003>