

Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching untuk Menurunkan Nyeri dan Meningkatkan Lingkup Gerak Sendi Penderita Osteoarthritis Lutut

Dwi Rosella Komalasari

Program Studi Fisioterapi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia; drk133@ums.ac.id (koresponden)

Denada Salsabila

Program Studi Fisioterapi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia; denadasblz@gmail.com

Taufik Eko Susilo

Program Studi Fisioterapi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia; tes325@ums.ac.id

ABSTRACT

Osteoarthritis is a progressive musculoskeletal condition that most often affects joints, especially the knee as the dominant weight-bearing joint. Pain is the main problem in knee osteoarthritis which causes quadriceps and hamstring muscle spasms, and reduces joint range of motion. Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques have been reported to have a positive effect in reducing pain and muscle spasms, but its effect on joint range of motion is unclear. Therefore, research was needed that aimed to analyze the effectiveness of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching to reduce pain and increase joint range of motion in knee osteoarthritis. This study used a one group pretest and posttest design conducted at Pandan Arang Hospital, Boyolali. A total of 19 patients with knee osteoarthritis participated in this study, through a purposive sampling technique. The level of pain was measured using a numeric rating scale, while the range of joint motion was measured using a goniometer. The differences in pain levels and range of motion between before and after treatment were analyzed using the Wilcoxon test. The results showed that there was a p value for the level of pain, flexion joint range of motion and extension joint range of motion, each of which was 0.001; which means there is a difference in the three variables before and after treatment. Thus it could be concluded that proprioceptive neuromuscular facilitation stretching is effective in reducing pain and increasing the range of motion of the joints of patients with knee osteoarthritis.

Keywords: knee osteoarthritis; proprioceptive neuromuscular facilitation stretching; pain; range of motion of the joints

ABSTRAK

Osteoarthritis adalah kondisi muskuloskeletal progresif yang paling sering menyerang sendi terutama menyerang lutut sebagai sendi penahan beban yang dominan. Nyeri adalah masalah utama pada osteoarthritis lutut yang menyebabkan spasme otot quadriceps dan hamstring, serta menurunkan lingkup gerak sendi. Teknik *proprioceptive neuromuscular facilitation stretching* dilaporkan memberikan efek positif dalam mengurangi nyeri dan spasme otot, tetapi belum jelas efeknya terhadap lingkup gerak sendi. Maka diperlukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis efektifitas pengaruh *proprioceptive neuromuscular facilitation stretching* untuk mengurangi nyeri dan meningkatkan lingkup gerak sendi pada osteoarthritis lutut. Penelitian ini menggunakan desain *one group pretest and posttest* yang dilakukan di RSUD Pandan Arang Boyolali. Sebanyak 19 pasien dengan osteoarthritis lutut berpartisipasi dalam penelitian ini, melalui teknik *purposive sampling*. Tingkat nyeri diukur menggunakan *numeric rating scale*, sedangkan lingkup gerak sendi diukur menggunakan goniometer. Perbedaan tingkat nyeri dan lingkup gerak sendiri antara sebelum dan sesudah perlakuan dianalisis menggunakan uji Wilcoxon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada nilai p untuk tingkat nyeri, lingkup gerak sendi fleksi dan lingkup gerak sendi ekstensi masing-masing adalah 0,001; yang berarti ada perbedaan ketiga variabel antara sebelum dan sesudah diberikan perlakuan. Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa *proprioceptive neuromuscular facilitation stretching* efektif untuk mengurangi nyeri dan meningkatkan lingkup gerak sendi pasien dengan osteoarthritis lutut.

Kata kunci: osteoarthritis lutut; *proprioceptive neuromuscular facilitation stretching*; nyeri; lingkup gerak sendi

PENDAHULUAN

Osteoarthritis (OA) adalah keadaan muskuloskeletal progresif yang tersering menyerang sendi terutama lutut sebagai sendi dominan dalam menahan beban.⁽¹⁾ Empat tanda utama OA lutut yaitu nyeri, kaku, berkurangnya gerak sendi, dan lemahnya otot. Nyeri adalah masalah dominan pada OA lutut yang menimbulkan spasme quadriceps dan hamstring, serta mengurangi lingkup gerak sendi (LGS). Nyeri OA lutut bersifat intermiten dan berkenaan dengan menahan beban. Saat lutut digerakkan, nyeri menjadi lebih buruk, tetapi akan membaik saat lutut diistirahatkan.⁽²⁾ LGS lutut pasien OA lutut menjadi terbatas pada tahap awal, dan selalu muncul pada rentang gerak akhir. Ketika OA lutut memburuk, LGS mengecil, dengan gangguan ekstensi dan fleksi.⁽²⁾

Masalah lutut pada OA mencapai 41%, sementara 30% di tangan dan 19% di pinggul.⁽³⁾ Prevalensi OA pada usia 60 tahun atau lebih adalah sekitar 10% pada pria dan 13% pada wanita, sehingga OA lutut adalah salah satu gangguan utama pada populasi lanjut usia.⁽¹⁾ Di Indonesia, prevalensi OA adalah 24,7%.⁽⁴⁾ Prevalensi OA berdistribusi 5% pada usia <40 tahun, 30% pada usia 40-60 tahun, dan 65% pada usia >61 tahun.⁽⁵⁾

Penatalaksanaan OA bertujuan untuk meningkatkan toleransi aktivitas fungsional dan kualitas hidup penderita. Manajemen OA yang optimal melibatkan pendekatan non-farmakologis dan farmakologis.⁽⁶⁾ Namun, terapi farmakologis rentan dengan efek samping seperti gagal jantung kongestif, hipertensi, dan toksisitas ginjal. Terapi latihan merupakan pendekatan non-farmakologis yang bertujuan untuk mencapai perbaikan fungsional pada setiap bagian tubuh manusia berdasarkan kekuatan pasien, bantuan terapis, atau peralatan rehabilitasi.⁽⁷⁾ Terdapat berbagai terapi latihan termasuk teknik *stretching* yang salah satunya adalah *proprioceptive neuromuscular facilitation stretching* (PNFS) yaitu peregang dengan mengkombinasikan 3 teknik yaitu *contract relax stretching* (CR), *hold relax stretching* (HR) dan *contract relax agonist contraction* (CRAC). PNFS

merupakan teknik peregangan di mana proprioseptif memberikan stimulus mengenai gerakan dan posisi tubuh, neuromuskular yang melibatkan saraf dan otot, serta fasilitasi yang membuat gerakan menjadi mudah.⁽⁸⁾

Peregangan sering dianggap sebagai tujuan untuk meningkatkan LGS lutut. Latihan peregangan sering digunakan dalam kombinasi dengan komponen lain dalam berbagai program intervensi. Namun, sedikit yang diketahui tentang kesuksesan latihan peregangan pada pengelolaan nyeri pada OA lutut.⁽⁹⁾ PNFS dengan latihan 3 kali dalam seminggu dan dilakukan selama 8 minggu menghasilkan efek positif. Derekomendasikan bahwa teknik PNFS yang efektif dalam mengurangi nyeri yaitu dengan frekuensi 2 kali dalam seminggu.

Berdasarkan latar belakang di atas, diperlukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis efektifitas PNFS untuk menurunkan nyeri dan meningkatkan LGS penderita OA lutut.⁽¹⁰⁾

METODE

Penelitian ini dilakukan berdasarkan uji etik penelitian dari Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan nomor SK 4538/B.1/KEPK-FKUMS/X/2022. Penelitian dilakukan di Instalasi Fisioterapi, Rumah Sakit Umum Daerah Pandan Arang Boyolali, Jawa Tengah.

Penelitian ini merupakan studi eksperimental dengan rancangan *one group pretest and post test*. Terdapat total populasi pasien OA lutut di RS Pandan Arang Boyolali pada kunjungan bulan Januari sejumlah 60 orang. Pengambilan sampel dilakukan pada pasien yang memiliki karakteristik pada populasi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi dan diambil secara *purposive sampling*. Selain ini pasien harus memenuhi beberapa kriteria inklusi sebagai berikut: (1) pasien telah terdiagnosa OA lutut unilateral; (2) berusia >45 tahun; (3) memiliki OA lutut dengan grade ≥ 2 berdasarkan klasifikasi Kellgren dan Lawrence; (4) nilai nyeri lutut minimal 3 diukur menggunakan *Numeric Rating Scale* (NRS); (5) berjalan tanpa menggunakan alat bantu; (6) mampu berkomunikasi dengan baik. Sedangkan kriteria eksklusi adalah: (1) memiliki riwayat operasi pada ekstremitas bawah <6 bulan; (2) mengalami penyakit neurologis (*stroke*, *parkinson*, *cerebral ataxia*); (3) adanya reaksi hipersensitif di sekitar lutut; (4) memiliki keluhan nyeri punggung bawah yang berhubungan dengan nyeri lutut. Pasien dikeluarkan dari penelitian jika tidak mengikuti sesi latihan lebih dari 1 kali. Hanya 19 dari 60 pasien RSUD Pandan Arang Boyolali yang masuk dalam kriteria inklusi penelitian.

Pasien diberikan intervensi berupa *stretching* pada otot quadriceps dan otot hamstring dengan teknik PNFS, dengan mengombinasikan 3 teknik yaitu CR, HR dan CRAC. PNFS dilakukan 2 kali dalam seminggu selama 4 minggu, 2 set, 3-4 kali repetisi dengan 75% kontraksi isometrik pada otot yang akan di ulur selama 10 detik dan dengan waktu relaksasi 10 detik antar set. Penguluran otot quadriceps dilakukan pada posisi pasien tengkurap sedangkan penguluran otot Hamstring dilakukan pada posisi terlentang. Penelitian ini mengamati efek PNFS terhadap nyeri saat melakukan aktivitas dengan NRS dan LGS sendi lutut yaitu gerak fleksi dan ekstensi dengan menggunakan goniometer. Pengukuran dilakukan sebelum intervensi dimulai (pertemuan pertama) dan sesudah intervensi selesai selama 4 minggu. Pengukuran fleksi lutut pada posisi pasien tengkurap sedangkan posisi terlentang digunakan untuk mengukur LGS ekstensi sendi lutut.

Data dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan karakteristik responden, dan hasil pengukuran mencakup nilai minimum, nilai maksimum, *mean*, frekuensi dan simpangan baku. Selanjutnya dilakukan analisis perbedaan tingkat nyeri dan LGS antara sebelum dan sesudah intervensi PNFS menggunakan uji Wilcoxon.

HASIL

Tabel 1 menunjukkan bahwa rerata usia pasien OA lutut adalah 73 tahun atau di atas 60 tahun. Pasien didominasi oleh perempuan (78,9%). Rerata lama menderita OA lutut adalah sekitar 20 bulan. Tingkat nyeri pasien menurun dari skor rerata 6,1 menjadi 3,9 setelah dilakukan PNFS, dengan nilai $p = 0,001$, sehingga ditafsirkan bahwa ada perubahan tingkat nyeri sesudah dilakukan PNFS. Hal yang sama terjadi pada LGS fleksi dan ekstensi, yakni meningkat dari 121,1 menjadi 128,9 derajat, dengan nilai $p = 0,001$ untuk LGS fleksi; serta meningkat dari 5,5 menjadi 1,4 derajat untuk LGS ekstensi, dengan nilai $p = 0,001$. Dengan demikian bisa ditafsirkan bahwa ada peningkatan LGS fleksi dan ekstensi sesudah dilakukan PNFS.

Tabel 1. Karakteristik demografi, tingkat nyeri dan LGS pasien dengan OA lutut di RS Pandan Arang Boyolali

Variabel	Kategori	Frekuensi (persentase)	Minimum	Maksimum	Mean $\pm$ simpangan baku	Nilai p
Usia (tahun)			47	73	60,3 $\pm$ 6,9	
Jenis kelamin	Laki-laki	4 (21,1)				
	Perempuan	15 (78,9)				
OA Lutut	Dekstra	12 (63,2)				
	Sinistra	7 (36,8)				
Grade OA	Grade 1	0 (0)				
	Grade 2	12 (63,2)				
	Grade 3	7 (36,8)				
	Grade 4	0 (0)				
Lama OA (bulan)			7	38	20,05 $\pm$ 8,1	
Nyeri sebelum			3	9	6,1 $\pm$ 1,7	0,001
Nyeri sesudah			1	5	3,9 $\pm$ 1,1	
LGS fleksi sebelum			95	130	121,1 $\pm$ 8,9	0,001
LGS fleksi sesudah			115	134	128,9 $\pm$ 5,05	
LGS ekstensi sebelum			2	10	5,5 $\pm$ 2,1	0,001
LGS ekstensi sesudah			0	4	1,4 $\pm$ 1,2	

PEMBAHASAN

Analisis data menunjukkan bahwa PNFS memberikan efek yang positif dalam penurunan nyeri dan peningkatan LGS pada pasien OA lutut. OA lutut merupakan penyakit degeneratif yang umum terjadi pada sendi lutut, ditandai dengan kerusakan progresif pada tulang rawan yang melapisi ujung tulang. Problematika utama

dari osteoarthritis lutut meliputi nyeri kronis, kekakuan, dan pembengkakan yang signifikan, yang secara drastis dapat membatasi mobilitas dan aktivitas sehari-hari penderita.⁽¹¹⁾

Nyeri pada OA lutut berdampak signifikan terhadap otot-otot di sekitar sendi lutut, dan menyebabkan siklus disfungsi dan penurunan kondisi yang lebih lanjut. Nyeri kronis mengurangi aktivitas fisik, yang menyebabkan penggunaan otot yang minim dan atrofi otot, terutama pada otot-otot quadriceps. Penurunan massa dan kekuatan otot ini mengurangi stabilitas sendi dan meningkatkan beban mekanis pada lutut, memperburuk nyeri dan mempercepat progresi OA. Nyeri juga memengaruhi fungsi neuromuskular, menyebabkan pola gerakan yang tidak normal dan penurunan proprioepsi, yang selanjutnya dapat memberikan tekanan pada otot dan ligamen. Selain itu, nyeri yang terus-menerus dapat memicu kejang otot dan kelelahan, yang berkontribusi pada kelemahan dan keterbatasan fungsional secara keseluruhan. Manajemen nyeri yang efektif sangat penting untuk memutus siklus ini, karena dapat memungkinkan pasien untuk melakukan latihan rehabilitatif yang memperkuat otot, meningkatkan stabilitas sendi, dan meningkatkan mobilitas secara keseluruhan.⁽¹²⁾ Otot quadriceps dan otot hamstring mempunyai peran penting dalam stabilisasi ekstremitas bawah untuk dapat mendukung pelaksanaan aktivitas sehari-hari. Kedua otot tersebut pada umumnya mengalami penurunan fungsi atau kelemahan otot yang disebabkan utamanya oleh nyeri. Nyeri mengakibatkan berkurangnya aktivitas fisik (immobilisasi) sehingga berdampak melemahnya otot-otot quadriceps, kemampuan untuk menyerap guncangan dan menstabilkan lutut berkurang, meningkatkan stres pada sendi dan mempercepat kerusakan tulang rawan.⁽¹³⁾ Selain itu, atrofi otot dan gangguan kontrol neuromuskular dapat terjadi, yang semakin mengganggu pola gerakan dan meningkatkan risiko jatuh serta cedera lanjutan. Masalah otot ini dapat ditangani dengan terapi fisik dan latihan kekuatan yang terarah untuk memperbaiki fungsi dan kualitas hidup penderita OA lutut.⁽¹⁴⁾

PNFS merupakan salah satu teknologi non farmakologi, di mana target pengobatan pada otot untuk terjadi pemanjangan (peregangan) yang dapat memberikan efek pengurangan nyeri dan peningkatan lingkup gerak sendi. Terdapat beberapa teknik peregangan PNFS yang memberikan efek yang berbeda-beda dalam menghambat impuls nyeri dikirim ke otak. PNFS terdapat teknik berupa *contract relax* dan *contract relax agonist contraction stretching* yang bertujuan untuk mengurangi nyeri di mana reseptor nyeri dan tekanan perifer terhubung ke interneuron yang sama di ujung dorsal sumsum tulang belakang. Reseptor nyeri terhubung ke serat aferen bermielin kecil, sedangkan reseptor tekanan terhubung ke serat aferen bermielin lebih besar. Sinyal tekanan ditransmisikan ke tulang belakang sebelum sinyal nyeri ketika kedua reseptor distimulasi secara bersamaan. Selama PNFS, sinyal tekanan dari otot, sendi, tendon, dan kapsul dapat menghambat transmisi nyeri pada lapisan ujung dorsal sumsum tulang belakang. Selama peregangan, *contract relax* dan *contract relax agonist contraction* otot diregangkan melampaui LGS. Ketika pasien menolak peregangan, mekanoreseptor pada organ tendon Golgi diaktifkan dan menghambat sinyal pada reseptor nosiseptor sehingga nyeri tidak muncul.⁽¹⁰⁾

PNFS dengan teknik *hold relax* dapat mengurangi nyeri dengan kontraksi isometrik otot antagonis. Adanya kontraksi otot antagonis dapat mempengaruhi rangsangan organ tendon Golgi dan menimbulkan mekanisme penghambatan yang menekan kekuatan impuls motorik yang diteruskan ke otot antagonis. Menurunnya impuls motorik otot antagonis mempunyai efek melemahkan kontraksi otot antagonis, menekan dan menurunkan kerja otot agonis, serta memperlancar pergerakan otot agonis. Selain itu, penurunan kontraksi antagonis identik dengan penurunan ketegangan otot, dan rangsangan pada nosiseptor juga menurun sehingga tidak menimbulkan nyeri.⁽¹⁵⁾

PNFS berupa teknik *contract relax agonist contraction* dengan kontraksi isometrik pada organ tendon Golgi dan serat otot. Kontraksi isometrik otot yang diregangkan berfungsi untuk memberikan pra-ketegangan pada GTO. Peningkatan ketegangan menyebabkan kontraksi pada penghambatan antagonis, sementara terjadi rangsangan pada otot agonis (quadriceps) melalui proses penghambatan autogenik. Sementara penurunan sensitivitas dan rangsangan hamstring yang disebabkan oleh penghambatan autogenik, relaksasi pasca-isometrik, dan penghambatan refleksi-H, kontraksi konsentrik quadriceps dimulai. gerakan sendi lutut terjadi selama kontraksi quadriceps karena hamstrings berelaksasi sesuai dengan prinsip penghambatan timbal balik. Peningkatan toleransi regangan dan ambang nyeri setelah peregangan, dikombinasikan dengan mekanisme neurologis akan memfasilitasi peningkatan lingkup gerak pada sendi lutut.⁽¹⁶⁾

PNFS berupa teknik *hold relax* dengan kontraksi konsentrik dari otot antagonis menyebabkan terjadinya reciprocal inhibition yang mengakibatkan resisten di dalam otot berkurang, sehingga menyebabkan otot terulur secara maksimal, dan menyebabkan terjadinya pemanjangan otot. Pemanjangan otot hamstring dengan metode Hold relax dapat meningkatkan pemanjangan otot secara optimal, sehingga dapat meningkatkan stabilitas sendi lutut yang memicu peningkatan LGS sendi lutut.⁽¹⁵⁾

PNFS adalah bentuk pelatihan fleksibilitas tingkat lanjut yang dapat secara signifikan meningkatkan rentang gerak pada individu dengan OA. PNFS melibatkan kombinasi peregangan pasif dan kontraksi isometrik, yang meningkatkan fleksibilitas otot dan meningkatkan mobilitas sendi. Metode ini bekerja dengan menstimulasi proprioceptor reseptor sensorik yang memberikan umpan balik terhadap posisi dan gerakan tubuh, sehingga mengoptimalkan respons sistem neuromuskular dan mengurangi kekakuan otot.⁽¹⁷⁾ Bagi penderita OA lutut, PNFS dapat membantu meringankan kekakuan dan nyeri sendi, memfasilitasi pergerakan dan fungsi yang lebih baik. Hasilnya, individu dapat mengalami peningkatan pola berjalan, berkurangnya ketidaknyamanan selama aktivitas sehari-hari, dan peningkatan kualitas hidup secara keseluruhan.⁽¹⁸⁾

Penguluran yang tepat memiliki efek signifikan dalam mengurangi nyeri dan meningkatkan lingkup gerak sendi pada pasien dengan kondisi musculoskeletal seperti OA. Melalui penguluran, otot-otot dan jaringan ikat di sekitar sendi menjadi lebih lentur, mengurangi kekakuan yang sering menyertai OA. Penguluran yang teratur membantu mengurangi ketegangan otot dan meningkatkan sirkulasi darah ke daerah yang terkena, yang dapat mempercepat pemulihan dan mengurangi sensasi nyeri.⁽¹⁹⁾ Selain itu, peningkatan fleksibilitas ini memungkinkan sendi untuk bergerak lebih bebas dalam berbagai arah, memperbaiki lingkup gerak yang sering terbatas pada pasien OA. Dengan demikian, penguluran tidak hanya mengurangi ketidaknyamanan tetapi juga

meningkatkan kemampuan fungsional sehari-hari, memungkinkan pasien melakukan aktivitas dengan lebih mudah dan mengurangi risiko cedera lebih lanjut.⁽²⁰⁾

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa latihan PNFS dengan metode *hold relax*, *contract relax* dan *contract relax agonist contraction* dapat menurunkan nyeri dan meningkatkan lingkup gerak sendi pada pasien OA lutut.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Rumah Sakit Pandan Arang Boyolali serta Instalasi Fisioterapi yang telah memberikan ijin kepada peneliti untuk dapat melakukan penelitian. Terima kasih yang tak terhingga bagi pasien OA lutut di Instalasi Fisioterapi RSUD Pandan Arang Boyolali yang telah berpartisipasi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Primorac D, Molnar V, Rod E, Jeleč Ž, Čukelj F, Matšić V, et al. Knee Osteoarthritis: A review of pathogenesis and state-of-the-art non-operative therapeutic considerations. *Genes*. 2020;11(8).
2. Zeng CY, Zhang ZR, Tang ZM, Hua FZ. Benefits and mechanisms of exercise training for knee osteoarthritis. *Front Physiol*. 2021;12:794062.
3. Peck J, Slovek A, Miro P, Vij N, Traube B, Lee C, et al. A comprehensive review of viscosupplementation in osteoarthritis of the knee. *Orthop Rev (Pavia)*. 2021;13(2):25549.
4. Sasono B, Amanda NA, Dewi DNSS. Faktor dominan pada penderita osteoarthritis di RSUD Dr. Mohamad Soewandhie, Surabaya, Indonesia. *Report*. 2020;8(2).
5. Wardoyo SSI, Rosadi R, Amanati S, Putra YW. Efektifitas modalitas latihan terhadap penurunan nyeri pada lansia dengan osteoarthritis lutut di Kota Malang. *Physiotherapy Health Science (PhysioHS)*. 2021;2(2):39-49.
6. Sekeon SAS, Sharchis S. Prolotherapy with hypertonic dextrose for chronic genu osteoarthritis. *Jurnal Sinaps*. 2019;2(2):30-4.
7. Mo L, Jiang B, Mei T, Zhou D. Exercise therapy for knee osteoarthritis: a systematic review and network meta-analysis. *Orthop J Sports Med*. 2023;11(5):23259671231172773.
8. Beckers D, Buck M. PNF in practice: an illustrated guide. Springer Nature; 2021.
9. Luan L, El-Ansary D, Adams R, Wu S, Han J. Knee osteoarthritis pain and stretching exercises: a systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy*. 2022;114:16-29.
10. Gao B, Li L, Shen P, Zhou Z, Xu P, Sun W, et al. Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching in relieving pain and balancing knee loading during stepping over obstacles among older adults with knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *PLoS One*. 2023;18(2):e0280941.
11. Berteau J-PJJoCM. Knee pain from osteoarthritis: pathogenesis, risk factors, and recent evidence on physical therapy interventions. *Report*. 2022;11(12):3252.
12. Alnahdi AH, Zeni JA, Snyder-Mackler L. Muscle impairments in patients with knee osteoarthritis. *Sports Health*. 2012;4(4):284-92.
13. Kopydlowski NJ, Weber AE, Sekiya JKJH, Guide QliAAC. Functional anatomy of the hamstrings and quadriceps. *Report*. 2014:1-14.
14. O'Neill TW, Felson DT. Mechanisms of osteoarthritis (OA) pain. *Current Osteoporosis Reports*. 2018;16(5):611-6.
15. Imran M, Patollongi IJ, Aras D. Perbedaan hold relax dan contract relax pada penderita osteoarthritis knee joint. *Jurnal Kesmas (Kesehatan Masyarakat) Khatulistiwa*. 2021;8(4):169-82.
16. Burgess T, Vadachalam T, Buchholtz K, Jelsma J. The effect of the contract-relax-agonist-contract (CRAC) stretch of hamstrings on range of motion, sprint and agility performance in moderately active males: A randomised control trial. *S Afr J Sports Med*. 2019;31(1):v31i1a6091.
17. Hindle KB, Whitcomb TJ, Briggs WO, Hong J. Proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF): Its mechanisms and effects on range of motion and muscular function. *Journal of human kinetics*. 2012;31:105-13.
18. Zhu GC, Chen KM, Belcastro F. Comparing different stretching exercises on pain, stiffness, and physical function disability in older adults with knee osteoarthritis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2024;105(5):953-62.
19. Afonso J, Ramirez-Campillo R, Moscão J, Rocha T, Zacca R, Martins A, et al. Strength training versus stretching for improving range of motion: a systematic review and meta-analysis. *Healthcare (Basel, Switzerland)*. 2021;9(4).
20. Behm DG, Alizadeh S, Daneshjoo A, Anvar SH, Graham A, Zahiri A, et al. Acute effects of various stretching techniques on range of motion: a systematic review with meta-analysis. *Sports medicine - open*. 2023;9(1):107.