

Analisis Biomekanik Kinetik pada Atlet *Badminton* dengan Nyeri Lutut Saat Gerakan *Backhand Diagonal Forward Lunges*

Aulia Setia Ningsih, S.Ftr^{1*} Suryo Saputra Perdana, M.Sc. Pt²

^{1,2} University of Muhammadiyah Surakarta

*Email: setianingsihaulia@gmail.com

ABSTRAK

Badminton merupakan olahraga raket yang populer di seluruh dunia, olahraga ini memiliki karakteristik gerakan eksplosif dan intensif, salah satunya adalah gerakannya *backhand diagonal forward lunges* yang mana bukan hanya otot ekstremitas bawah yang teraktivasi namun sangat dipengaruhi oleh aktivasi pada ekstremitas atas. Analisis biomekanik kinetik merupakan salah satu kajian ilmu biomekanik yang membahas mengenai gaya yang terjadi di dalam tubuh yaitu aktivasi otot. Angka kejadian cedera olahraga ini lebih sedikit dibanding olahraga lain, namun tingkat keparahannya tinggi, salah satu cedera yang paling sering muncul adalah cedera lutut. Nyeri lutut dapat menyebabkan penurunan fungsi dan fisik seorang atlet. Tujuan dari penelitian ini untuk melihat apakah terdapat hubungan antara kualitas nyeri lutut (diukur menggunakan KOOS) dengan aktivasi otot (diukur menggunakan *surface* EMG) serta untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh riwayat cedera multiregional terhadap aktivasi *m.vastus medialis oblique*, *m.vastus lateralis*, *m.biceps femoris* dan *m.erector spine* saat gerakan *backhand diagonal forward lunges*. Jenis penelitian ini adalah kuantitatif melalui pendekatan korelasional dengan desain *crosssectional* study. Jumlah sampel dalam penelitian ini adalah 21 atlet yang masuk kedalam kriteria inklusi. Hasil uji normalitas diukur menggunakan *Shapiro wilk* didapatkan hasil $p : 0.064 > 0.05$. Hasil uji korelasi menggunakan *pearson correlation*, terdapat hubungan yang kuat antara kualitas nyeri lutut dengan aktivasi otot. Hasil uji beda menggunakan *independen sample t-test* yaitu terdapat pengaruh riwayat cedera multiregional terhadap aktivasi pada *m.erector spine* $p (0.04 < 0.05)$.

Kata Kunci : Badminton, *Lunges*, Nyeri Lutut, Aktivasi otot

PENDAHULUAN

Badminton merupakan salah satu jenis olahraga raket yang populer dan dapat dimainkan siapa saja tanpa memandang jenis kelamin, usia, maupun level keahlian (Lam *et al.*, 2018). Angka kejadian cedera pada *badminton* cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan olahraga lainnya (Phomsoupha & Laffaye, 2020), namun tingkat keparahannya cenderung lebih tinggi (Marchena-Rodriguez *et al.*, 2020). Hal ini dibuktikan oleh Lindblad (1994) bahwa 56% atlet badminton yang mengalami cedera akan berhenti bermain akibat dari cedera yang ia alami. Selain itu Park *et al.*, (2017) menyebutkan bahwa *knee* merupakan regio yang paling sering mengalami cedera, ini terjadi dikarenakan karakteristik permainannya yaitu gerakan berulang dan intensitas tinggi sehingga beban yang diterima pada lutut meningkat. Nyeri lutut merupakan penyebab terjadinya penurunan fungsi dan fisik seorang atlet (Huang *et al.*, 2014). Pernyataan ini didukung oleh Farrokhi *et al.* (2008) bahwa nyeri lutut menyebabkan perubahan pola aktivasi otot pada *knee* dan *trunk* saat gerakan *backhand diagonal lunges*, perubahan pola aktivasi akan menimbulkan perbedaan kekuatan otot sehingga meningkatkan resiko cedera pada lutut (Devlin, 2000). Pola aktivasi otot merupakan kajian dari ilmu biomekanik khususnya kajian analisis kinetik

Salah satu teknik dasar dalam olahraga *badminton* adalah *footwork* (Valdecabres *et al.*, 2020). Gerakan *footwork* memiliki frekuensi yang paling banyak ditemukan selama pertandingan. Salah satu gerakan *footwork* yang sering dilakukan dalam permainan ini adalah *lunges*, menurut (Kuntze *et al.*, 2010) menyatakan bahwa 15% gerakan dalam permainan *badminton* dapat dikategorikan sebagai gerakan *lunges*, gerakan ini merupakan sebuah gerakan yang kompleks karena otot yang teraktivasi bukan hanya pada ekstremitas bawah namun sangat dipengaruhi oleh ekstremitas atas salah satunya adalah *trunk* yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan selama gerakan (Farrokhi *et al.*, 2008). Gerakan *backhand diagonal forward lunges* adalah salah satu gerakan *lunges* yang membutuhkan rotasi

trunk yang tinggi apabila dibandingkan *forehand diagonal lunges* sehingga *neuromuscular control* jauh lebih aktif. Saat gerakan *backhand diagonal forward lunges* otot ekstremitas bawah yang teraktivasi antara lain *m.vastus medialis oblique*, *m.vastus lateralis*, *m.biceps femoris* dan otot pada *trunk* yang teraktivasi salah satunya adalah *m.erector spine*.

Analisis biomekanik kinetik merupakan kajian mendalam terkait gaya yang terjadi di dalam tubuh, yaitu gaya yang dihasilkan oleh otot atau disebut dengan pola aktivasi otot (Yin *et al.*, 2015). Analisis yang dimaksudkan dalam penelitian ini terkait kajian mendalam mengenai hubungan antara nyeri lutut dengan pola aktivasi otot *knee* dan *trunk* pada pemain *badminton* saat gerakan *backhand diagonal forward lunges*. Pengukuran nyeri lutut menggunakan KOOS (*The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score*) yang merupakan sebuah instrument pengukuran untuk menilai pendapat pasien terkait masalah pada lututnya (Roos & Lohmander, 2003) sedangkan aktivasi otot diukur menggunakan *Electromyograph* yang merupakan sebuah teknologi untuk merekam aktivitas listrik yang berasal dari otot (Mills, 2005).

Pada penelitian ini penulis juga menganalisis terkait pengaruh riwayat cedera multiregional terhadap pola aktivasi otot pada *knee* dan *trunk* saat gerakan *backhand diagonal forward lunges*, hal ini didasari pada penelitian yang sebelumnya oleh Kester *et al.* (2017) menyebutkan bahwa 80 % individu yang telah mengalami cedera lutut dapat kembali berolahraga. Hipotesa penulis menyatakan bahwa terdapat faktor lain yang mempengaruhi kemampuan atlet dalam bermain salah satunya adalah cedera multiregional, sehingga penulis melakukan *study* komparasi antara atlet yang mengeluhkan nyeri lutut saja dengan atlet yang mengeluhkan nyeri lutut dan cedera multiregional.

METODE

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif melalui pendekatan korelasional dengan desain *cross sectional study*. Pada penelitian ini membahas mengenai analisis biomekanik kinetik terkait hubungan antara nyeri lutut dengan pola aktivasi otot *knee* dan *trunk* serta pengaruh riwayat cedera multiregional terhadap pola aktivasi otot *knee* dan *trunk* pada atlet *badminton* saat gerakan *backhand diagonal lunges*.

Penelitian ini dilakukan setelah mendapat perizinan dengan diterbitkannya *ethical clearance* No.312/B.2/KEPK-FKUMS/I/2021. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh atlet *badminton* dari Klub Persatuan Masyarakat Solo (PMS) yang berjumlah 37 atlet dan untuk sampel yang masuk dalam kriteria inklusi dan eksklusi berjumlah 21 atlet, adapun kriteria inklusi : 1) bersedia berpartisipasi menjadi sampel dalam penelitian ini dengan mengisi *informed consent*. 2) merupakan atlet *badminton* remaja yang berusia 14-18 tahun. 3) memiliki pengalaman bermain selama >2 tahun. 4) mengeluhkan nyeri lutut pada *dominant racket hand*. Kriteria eksklusi adalah atlet sedang menjalani program latihan setelah mengalami cedera. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah nyeri lutut pada *dominant racket hand* sedangkan variabel terikat dalam penelitian ini adalah aktivasi otot pada saat melakukan gerakan *backhand diagonal forward lunges* serta terdapat variabel pengganggu dalam penelitian ini yaitu riwayat cedera multiregional.

Pengambilan data dimulai dengan datang ke klub badminton Perkumpulan Masyarakat Solo (PMS) pada bulan Desember 2020. Alur dilakukannya penelitian diantara lain : (1) Pengisian data diri dan lembar KOOS. (2) Responden melakukan *warming up*. (3) Persiapan alat EMG dan pemasangan elektroda pada otot *m.vastus medialis oblique*, *m.biceps femoris*, *m.vastus lateralis*, dan *m.erector spine*. (4) Posisi *static standing* dihitung sebagai posisi netral. (5) responden mulai melakukan gerakan *backhand diagonal forward lunges* dengan cara maju ke depan sebanyak 2 langkah pada *non dominant lower extremity* lalu menumpukan tubuh pada *dominant lower extremity* dengan gerakan tangan *backhand*, gerakan ini membutuhkan waktu kurang lebih 3 detik, posisi yang diukur dalam penelitian ini adalah posisi statik atau *fix position* saat *backhand diagonal forward lunges*. (6) Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan gerakan, pengambilan data adalah diambil rata rata dari ketiganya.

HASIL

Tabel 1. Karakteristik Responden

Karakteristik	frekuensi	(%)	Mean	P
Jenis Kelamin			1.4286	1.00
Laki-laki	12	57.1		
Perempuan	9	42.9		
Umur			15.4768	1.00
14 tahun	7	33.3		
15 tahun	5	23.8		
16 tahun	2	9.5		
17 tahun	6	28.6		
18 tahun	1	4.8		
Dominan raket			1.1429	1.00
Kanan	18	85.7		
Kiri	3	14.3		
Cedera			1.5238	1.00
Nyeri lutut	10	47.6		
Multiregional	11	52.4		

Sumber: Data Primer, 2021

Dari tabel 1 tersebut dapat diketahui bahwa total responden adalah 21 atlet dengan 12 laki laki dan 9 perempuan dan rentan usia 12-18 tahun. Atlet lebih banyak menggunakan tangan kanan dengan total 18 atlet sedangkan dominan raket kiri berjumlah 3 atlet. Karakteristik terakhir adalah berdasarkan cedera, atlet yang mengeluhkan nyeri lutut saja berjumlah 10 orang (47.6 %) sedangkan atlet yang mengeluhkan nyeri lutut dan memiliki riwayat cedera multiregional sebanyak 11 orang (52.4 %). Penyebab dari nyeri lutut yang masuk kedalam karakteristik responden beragam diantaranya karena *ACL tear*, *meniscus tear*, *jumpers knee*, dan *pattelofemoral pain*. Sedangkan untuk cedera multiregional dilihat berdasarkan *history injury* diantaranya adalah *back pain*, *shoulder pain*, *epicondilitis*, dan *groin pain*.

Tabel 2. Uji normalitas KOOS dan *muscle activation*

No	Nama otot	Nilai sig	Jumlah	Keterangan
1	KOOS	0.064	21	Normal
2	<i>m. vastus medialis oblique</i>	0.000	21	Tidak normal
3	<i>m.vastus lateralis</i>	0.140	21	Normal
4	<i>m.biceps femoris</i>	0.048	21	Tidak normal
5	<i>m. erector spine</i>	0.030	21	Tidak normal

Uji normalitas yang digunakan adalah *shapiro wilk test* karena responden <50, uji *shapiro wilk* memiliki nilai sig > 0.05. Pada data hasil KOOS didapatkan nilai sig 0.064 yang artinya data berdistribusi normal. Maka untuk uji korelasi menggunakan *pearson correlation* serta untuk uji beda menggunakan *independent sample t test*.

Tabel 3 Uji Korelasi

No	Otot	Nilai sig	(r)	Korelasi	Ket
1	<i>VMO</i>	0.00	- 0.834**	Sangat kuat	-
2	<i>VL</i>	0.00	0.933**	Sangat kuat	+
3	<i>BF</i>	0.00	0.874**	Sangat kuat	+
4	<i>ES</i>	0.00	- 0.709**	Kuat	-

Dari tabel diatas merupakan hasil uji korelasi dengan *pearson correlation* dengan nilai sig <0.05 adapun hasilnya adalah terdapat hubungan yang signifikan antara nilai KOOS dengan aktivasi otot. Untuk arah dan kekuatan hubungan dapat dilihat dari nilai r yaitu terdapat hubungan negatif atau berlawanan antara nilai KOOS dengan aktivasi *m.vastus medialis oblique* yaitu -0.834** dan *m.erector spine* yaitu -0.709**. Hubungan negatif atau berlawanan menjelaskan bahwa ketika terjadi penurunan nilai KOOS maka sebaliknya akan terjadi peningkatan level aktivasi pada kedua otot tersebut. Selain itu juga terdapat hubungan positif antara nyeri lutut dengan *m.vastus lateralis* yaitu 0.93** dan *m. biceps femoris* yaitu 0.874**, hubungan searah atau positif menjelaskan bahwa ketika terjadi peningkatan nilai KOOS maka terjadi pula peningkatan level aktivasi pada kedua otot tersebut. Nilai KOOS terdiri dari 0-100 dengan nilai lebih rendah menunjukkan bahwa kemampuan fungsional menurun atau bisa diartikan kualitas nyeri mengalami peningkatan.

Tabel 4 Uji beda nyeri lutut dengan nyeri lutut dan cedera multiregional

No	Muscle	sig (p)	Keterangan
1.	<i>VMO</i>	0.450	Tidak terdapat perbedaan yang signifikan
2.	<i>VL</i>	0.330	Tidak terdapat perbedaan yang signifikan
3.	<i>BF</i>	0.168	Tidak terdapat perbedaan yang signifikan
4.	<i>ES</i>	0.040	Terdapat perbedaan yang signifikan

Dari tabel 4 diatas merupakan uji beda yang dilakukan menggunakan uji beda *independen sampel t-test* dengan nilai sig < 0.05, uji beda ini dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan antara dua grup yaitu grup A: atlet yang mengeluhkan nyeri lutut saja (n=10) dan grup B yaitu atlet yang mengeluhkan nyeri lutut dan cedera multiregional (n=11). Didapatkan hasil pada *m.vastus medialis oblique* (0.45), *m.vastus lateralis* (0.33), dan *m.biceps femoris* (0.168) yang artinya tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar kedua grup, namun pada *m.erector spine* menunjukkan hasil terdapat perbedaan yang signifikan sebesar 0.04, artinya riwayat cedera multiregional mempengaruhi aktivasi dari *m.erector spine*.

PEMBAHASAN

Hubungan antara nyeri lutut dengan aktivasi otot

Dari penelitian yang dilakukan pada 21 atlet *badminton* saat gerakan *backhand diagonal forward lunges* secara menyeluruh didapatkan hasil bahwa terdapat hubungan yang kuat antara kualitas nyeri lutut dengan aktivasi otot. Hubungan ini terjadi karena beberapa faktor, salah satunya secara anatomis sendi lutut memiliki stabilitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan sendi lainnya seperti *shoulder* yang memiliki *cavitas glenoidale* dan *caput humeri*, sendi *hip* yang memiliki *acetabulum* dan *caput femur* yang secara structural sangat stabil (Moura & Fonseca, 2018). Pada sendi lutut stabilitasnya sangat bergantung pada jaringan lunak disekitarnya seperti *ligament, meniscus, bursa, tendon* dan otot sehingga ketika terjadi cedera lutut menimbulkan perubahan pada sistem neuromuskuler salah satunya adalah perubahan aktivasi otot (Niccoli *et al.*, 2017). Selain karena faktor di atas penulis menemukan bahwa populasi yang digunakan memiliki tingkat homogenitas tinggi karena atlet sendiri memiliki program latihan yang hampir sama, penggunaan alat ukur yang tepat

dari segi validitas, reliabilitas ataupun ICF domain juga menjadi faktor penting yang menyebabkan hubungan antar dua variabel. Penggunaan SENIAM dalam protokol pemasangan elektroda juga meningkatkan level sensitivitas dari pengukuran aktivasi otot (Hermens *et al.*, 1999). Selain itu penggunaan instrument KOOS dinilai tepat untuk mengukur kemampuan fungsional lutut seseorang (Roos & Lohmander, 2003) walaupun instrument ini sudah diterjemahkan dalam banyak bahasa, namun KOOS sendiri belum dilakukan uji kultural di Indonesia (Collins *et al.*, 2016). Interpretasi instrument KOOS dengan rentan nilai 0-100 dimana semakin rendah nilai KOOS menunjukkan kemampuan fungsionalnya menurun atau menunjukkan tingginya level nyeri yang dirasakan atlet tersebut (Roos & Lohmander, 2003). Dari data hasil *electromyography* menjelaskan bahwa ketika terjadi peningkatan nilai KOOS akan terjadi pula peningkatan aktivasi *m.vastus medialis oblique* dan *m.erector spine* namun terjadi penurunan aktivasi pada *m.biceps femoris* dan *m.vastus lateralis*. Hal ini terjadi karena secara umum saat atlet melakukan gerakan *lunges m.vastus medialis oblique* akan berkontraksi eksentrik sedangkan *m.biceps femoris* berkontraksi kosentrik, ini disebut dengan mekanisme *co-activation* (Riemann *et al.*, 2012). Ketika terjadi peningkatan nyeri *m.vastus medialis oblique* akan meningkat aktivasinya untuk menjaga stabilitas sendi lutut sedangkan *m.vastus lateralis* dan *m.biceps femoris* akan menurunkan aktivasinya sebagai strategi kompensasi agar tidak menimbulkan cedera lain yang lebih parah (Zhao & Li, 2019). Disisi lain nyeri lutut dapat menyebabkan perubahan pada H:Q rasio (*hamstring: quadriceps* rasio) yang mana ketika terjadi peningkatan nyeri, aktivasi *mm.quadriceps* meningkat dan *mm.hamstring* menurun, ketika *mm.hamstring* mengalami penurunan aktivasi akan menimbulkan tingginya faktor cedera lainnya seperti *hamstring strain* (Chester *et al.*, 2008). Data hasil penelitian menyebutkan bahwa terjadi peningkatan aktivasi *m.erector spine* pada area kontralateral ketika nyeri lutut meningkat. Hal ini terjadi karena pada saat gerakan *backhand diagonal forward lunges* akan terjadi mekanisme *diagonal line* antara *m.erector spine* dan *m.biceps femoris*. Walaupun *m.vastus medialis oblique* dan *m.vastus lateralis* merupakan *one joint muscle*, namun pada *m.biceps femoris* bersifat *two joint muscle* yang berorigo di *pelvic*, sedangkan *m.erector spine* juga terletak pada *pelvic* (Wingerden *et al.*, 1993), Untuk itu atlet perlu diberikan *muscle strengthening* pada daerah *ipsilateral* dan *muscle release* pada daerah kontralateral dari *m.erector spine* (Huxel Bliven & Anderson, 2013). Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa kombinasi *knee exercise* dan *core muscle strengthening* dapat menurunkan level nyeri pada lutut (Ferber *et al.*, 2015), latihan ini juga bermanfaat sebagai *injury prevention training* untuk mencegah cedera pada lutut (Huxel Bliven & Anderson, 2013).

Pengaruh riwayat cedera multiregional terhadap aktivasi otot

Dari hasil uji beda didapatkan bahwa tidak dapat perbedaan yang signifikan antara aktivasi otot *m.vastus medialis oblique*, *m.vastus lateralis*, *m.biceps femoris* pada atlet yang mengeluhkan nyeri lutut saja dengan atlet yang mengalami nyeri lutut dan cedera multiregional. Namun pada aktivasi *m.erector spine* terdapat pengaruh yang signifikan, hal ini karena secara anatomis *trunk* akan berhubungan langsung dengan ekstremitas atas yaitu *shoulder complex* dan ekstremitas bawah yaitu pelvis sehingga kondisi cedera pada bagian lain sangat mempengaruhi level aktivasi pada *m.erector spine* (Farrokhi *et al.*, 2008).

KESIMPULAN

Terdapat hubungan yang kuat antara kualitas nyeri lutut dengan aktivasi otot pada regio *knee* dan *trunk*, ketika terjadi peningkatan nyeri maka terjadi peningkatan pada *m.vastus medialis oblique* & *m.erector spine* dan sebaliknya terjadi penurunan pada *m.biceps femoris* dan *m.vstus lateralis*.

Tidak terdapat pengaruh dari riwayat cedera multiregional terhadap aktivasi pada *m.vastus medialis*, *m.vastus lateralis*, dan *m.biceps femoris*, namun riwayat cedera multiregional mempengaruhi aktivasi pada *m.erector spine*.

REFERENSI

- Chester, R., Smith, T. O., Sweeting, D., Dixon, J., Wood, S., & Song, F. (2008). The relative timing of VMO and VL in the aetiology of anterior knee pain: A systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 9. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-9-64>
- Collins, N. J., Prinsen, C. A. C., Christensen, R., Bartels, E. M., Terwee, C. B., & Roos, E. M. (2016). Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): systematic review and meta-analysis of

- measurement properties. *Osteoarthritis and Cartilage*, 24(8), 1317–1329. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2016.03.010>
- Devlin, L. (2000). Recurrent posterior thigh symptoms detrimental to performance in rugby union: Predisposing factors. *Sports Medicine*, 29(4), 273–287. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029040-00005>
- Farrokhi, S., Pollard, C. D., Souza, R. B., Chen, Y. J., Reischl, S., & Powers, C. M. (2008). Trunk position influences the kinematics, kinetics, and muscle activity of the lead lower extremity during the forward lunge exercise. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 38(7), 403–409. <https://doi.org/10.2519/jospt.2008.2634>
- Ferber, R., Bolgla, L., Earl-Boehm, J. E., Emery, C., & Hamstra-Wright, K. (2015). Strengthening of the hip and core versus knee muscles for the treatment of patellofemoral pain: A multicenter randomized controlled trial. *Journal of Athletic Training*, 50(4), 366–377. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.70>
- Hermens, H. J., Freriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, G., Disselhorst-Klug, C., & Hägg, G. (1999). European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy. *Roessingh Research and Development*, 8–11. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4)
- Huang, M. T., Lee, H. H., Lin, C. F., Tsai, Y. J., & Liao, J. C. (2014). How does knee pain affect trunk and knee motion during badminton forehand lunges? *Journal of Sports Sciences*, 32(7), 690–700. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.848998>
- Huxel Bliven, K. C., & Anderson, B. E. (2013). Core Stability Training for Injury Prevention. *Sports Health*, 5(6), 514–522. <https://doi.org/10.1177/1941738113481200>
- Kester, B. S., Behery, O. A., Minhas, S. V., & Hsu, W. K. (2017). Athletic performance and career longevity following anterior cruciate ligament reconstruction in the National Basketball Association. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 25(10), 3031–3037. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4060-y>
- Kuntze, G., Mansfield, N., & Sellers, W. (2010). A biomechanical analysis of common lunge tasks in badminton. *Journal of Sports Sciences*, 28(2), 183–191. <https://doi.org/10.1080/02640410903428533>
- Lam, W. K., Lee, K. K., Park, S. K., Ryue, J., Yoon, S. H., & Ryu, J. (2018). Understanding the impact loading characteristics of a badminton lunge among badminton players. *PLoS ONE*, 13(10), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205800>
- Marchena-Rodriguez, A., Gijon-Nogueron, G., Cabello-Manrique, D., & Ortega-Avila, A. B. (2020). Incidence of injuries among amateur badminton players: A cross-sectional study. *Medicine*, 99(18), e19785. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019785>
- MD, K. H., & Lindblad, B. (1994). *Badminton injuries*. 28(4), 276–279.
- Mills, K. R. (2005). The basics of electromyography. *Neurology in Practice*, 76(2). <https://doi.org/10.1136/jnnp.2005.069211>
- Moura, D. L., & Fonseca, F. P. (2018). Sports activity and hip, knee, shoulder and intervertebral disc arthroplasties. *Acta Ortopedica Brasileira*, 26(5), 350–355. <https://doi.org/10.1590/1413-785220182605182508>
- Niccoli, G., Mercurio, D., & Cortese, F. (2017). Bone scan in painful knee arthroplasty: obsolete or actual examination? *Acta Bio Medica Atenei Parmensis*, 88(2-S), 68–77. <https://doi.org/10.23750/abm.v88i2>
- Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2020). Injuries in badminton: A review. *Science and Sports*, 35(4), 189–199. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2020.01.002>
- Riemann, B. L., Lapinski, S., & Davies, G. (2012). *Biomechanical Analysis of the Anterior Lunge During 4 External-Load Conditions*. 47(4), 372–378. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.4.16>

- Roos, E. M., & Lohmander, L. S. (2003). The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): From joint injury to osteoarthritis. *Health and Quality of Life Outcomes*, *1*, 1–8. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-1-64>
- Valdecabres, R., Casal, C. A., Chiminazzo, J. G. C., & de Benito, A. M. (2020). Players' On-Court Movements and Contextual Variables in Badminton World Championship. *Frontiers in Psychology*, *11*(July), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01567>
- van Wingerden, J. P., Vleeming, A., Snijders, C. J., & Stoeckart, R. (1993). A functional-anatomical approach to the spine-pelvis mechanism: interaction between the biceps femoris muscle and the sacrotuberous ligament. *European Spine Journal*, *2*(3), 140–144. <https://doi.org/10.1007/BF00301411>
- Yin, L., Sun, D., Mei, Q., Gu, Y., Baker, J., & Feng, N. (2015). The Kinematics and Kinetics Analysis of the Lower Extremity in the Landing Phase of a Stop-jump Task. *The Open Biomedical Engineering Journal*, *9*(1), 103–107. <https://doi.org/10.2174/1874120701509010103>
- Zhao, X., & Li, S. (2019). A biomechanical analysis of lower limb movement on the backcourt forehand clear stroke among badminton players of different levels. *Applied Bionics and Biomechanics*, *2019*. <https://doi.org/10.1155/2019/7048345>