

Pengaruh Latihan Beban terhadap Perubahan Kadar Leptin pada Perempuan Obesitas

Muhammad Faturrachman Wahid, Desiana Merawati*, Sugiharto, Ahmad Abdullah

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: desiana.merawati.fik@um.ac.id

Paper received: 16-5-2023; revised: 22-5-2023; accepted: 23-5-2023

Abstract

The cause of obesity can be caused by unhealthy lifestyles and eating patterns and lack of physical activity. Obesity is associated with leptin resistance, with individuals showing increased energy requirements as well as lower levels of physical activity despite higher circulating leptin levels. The purpose of the research that the researchers conducted was to analyze the effect of weight training on changes in leptin concentrations in obese women. The true experimental method was used in this study with the randomized pretest-posttest control group design. The subjects studied were 18 obese women aged 20-25 years in Malang City with a Body Mass Index of 25-30 kg/m². The subjects were divided into two groups, the control group (K1) and weight training (K2). The analysis technique was carried out using SPSS 21 and tested through the Paired Samples T-Test with a significance level of 5%. The results showed a p-value of 0.724 ($p > 0.05$), thus no significant difference was found in the average pretest leptin levels in K1 and K2, while the average posttest leptin showed a p-value of 0.000 ($p < 0.05$) and p-value delta shows a value of 0.002 ($p < 0.05$). The results showed that weight training performed at moderate intensity, three times per week for a total of eight weeks, had a high level of effectiveness in reducing leptin levels in obese women.

Keywords: leptin; obesity; weight training

Abstrak

Pemicu terjadinya obesitas dapat disebabkan oleh pola hidup, kurang sehatnya pola makan, dan minimalnya aktivitas fisik. Obesitas dikaitkan dengan resistensi leptin, dimana individu menunjukkan peningkatan kebutuhan energi serta tingkat aktivitas fisik yang lebih rendah meskipun tingkat leptin yang bersirkulasi lebih tinggi. Tujuan atas penelitian yang peneliti lakukan yakni dalam rangka melakukan analisis pengaruh latihan beban terhadap perubahan konsentrasi leptin pada perempuan obesitas. Metode *true experimental* digunakan pada penelitian ini dengan rancangan penelitian *the randomized pretest-posttest control group design*. Subjek yang diteliti ialah 18 perempuan obesitas berusia 20–25 tahun di Kota Malang dengan Indeks Massa Tubuh 25-30 kg/m². Subjeknya terbagi atas dua kelompok, kelompok kontrol (K₁) serta latihan beban (K₂). Teknik analisis melalui bantuan SPSS 21 serta diuji melalui *Paired Samples T-Test* yang bertingkat signifikansi 5%. Hasilnya memperlihatkan *p*-value yang bernilai 0.724 ($p > 0.05$), maka tak ditemukan perbedaan rata-rata kadar leptin yang signifikan saat *pretest* pada K₁ dan K₂, sedangkan rata-rata leptin *posttest* menunjukkan nilai *p*-value 0.000 ($p < 0.05$) serta *p*-value delta menunjukkan nilai 0.002 ($p < 0.05$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa latihan beban yang dilakukan dengan intensitas sedang, berfrekuensi tiga kali di tiap minggunya dalam waktu total delapan minggu, memiliki tingkat keefektifitasan yang tinggi terkait penurunan kadar leptin pada perempuan obesitas.

Kata kunci: leptin; obesitas; latihan beban

1. Pendahuluan

Obesitas merupakan masalah kesehatan dunia yang harus diperhatikan karena obesitas meningkatkan risiko berbagai penyakit kronis tidak menular pada kardiometabolik yang bervariasi seperti hipertensi, diabetes melitus tipe 2 serta penyakit kardiovaskular maka hal ini menjadi masalah kesehatan dunia yang sangat penting untuk diperhatikan (Gadde et al.,

2018). Selain pada penyakit kardiometabolik, obesitas juga termasuk peningkatan risiko penyakit kronis tidak menular nonmetabolik, seperti beberapa tipe kanker, depresi, osteoporosis, osteoarthritis, disfungsi otot, dislipidemia, stroke (Rohde et al., 2019). Obesitas ditandai dengan akumulasi lemak berlebih yang berkaitan dengan terjadinya hiperplasia serta hipertrofi sel lemak pada jaringan adiposa (Vekic et al., 2019). Jaringan adiposa adalah organ aktif yang mampu merespon sinyal yang masuk dan mengeluarkan beberapa *polypeptide hormone* sebagai dampak dari obesitas (Jaleel et al., 2013).

Leptin merupakan salah satu hormon yang diproduksi oleh jaringan adiposa untuk mengatur massa lemak dan menjaga keseimbangan pengeluaran energi (Procaccini et al., 2012). Konsentrasi leptin dapat mengalami perubahan seiring dengan perubahan simpanan lemak tubuh (Pontzer, 2015), sehingga penurunan massa lemak berkorelasi positif dengan penurunan kadar leptin (Izquierdo et al., 2019). Penurunan kadar leptin telah diyakini dapat meningkatkan sensitivitas leptin secara keseluruhan (Zhou et al., 2013). Obesitas dikaitkan dengan resistensi leptin, dimana individu menunjukkan peningkatan asupan energi dan tingkat aktivitas fisik yang lebih rendah meskipun tingkat leptin yang bersirkulasi lebih tinggi (Fedewa et al., 2018).

Pemicu terjadinya obesitas bisa diakibatkan dari buruknya gaya hidup, tak sehatnya pola makan, serta kurangnya aktivitas fisik (Kim et al., 2016; Rejeki et al., 2021). Satu diantara sekian metode yang mampu digunakan sebagai solusi atas adanya obesitas adalah melalui inovasi terapi nonfarmakologis berbasis latihan (Sugiharto et al., 2022). Karena latihan dapat menurunkan kadar leptin diikuti dengan penurunan berat badan pada subjek obesitas (Koga et al., 2014). Hal ini terjadi karena leptin bekerja melalui perubahan ekspresi gen dengan kode (ob) pada jaringan adiposa (Azizi, 2011). Penurunan leptin setelah latihan akut dapat memberi sinyal pada tubuh untuk meningkatkan asupan energi dan menjaga keseimbangan energi (Park & Ahima, 2015; Rosenbaum & Leibel, 2014). Namun, jika latihan dilakukan secara kronis dapat mempengaruhi hormon utama yang mengatur asupan energi dan pengeluaran energi dengan menurunkan kadar leptin dan meningkatkan resistensi leptin, sehingga latihan dapat digunakan sebagai solusi bagi penderita obesitas (Fedewa et al., 2018). (Dieli-Conwright et al., 2018) melaporkan bahwa latihan intensitas sedang secara signifikan menurunkan kadar leptin diikuti dengan penurunan massa lemak. Namun, pada penelitian (Li et al., 2020) melaporkan bahwa latihan dengan intensitas sedang dengan durasi 15-35 menit/sesi selama 10 minggu secara signifikan tidak menurunkan kadar leptin pada obesitas. Oleh karena itu, peneliti ingin mengungkap respon latihan beban dengan intensitas sedang terhadap perubahan kadar leptin pada perempuan dengan obesitas.

2. Metode

Metode dalam menelitinya yakni *true experimental* melalui *the randomized pretest-posttest control group design*. Subjek yang diteliti yakni perempuan obesitas berusia 20-25 tahun di Kota Malang. Penghitungan besar subjek menggunakan rumus Higgins & Kleimbaun, 1985 didapatkan bahwa besar subjek minimal tiap kelompok adalah 9, dengan demikian jumlah total subjeknya yakni 18 orang. Metode dalam mengambil subjek penelitian menggunakan *consecutive sampling* berdasarkan kualifikasi kriteria eksklusi, inklusi, serta *drop out*. Saat meneliti subjek dibagi menjadi 2 kelompok menggunakan teknik *matching* berdasarkan BMI. Penelitian dilakukan di September 2022 dengan bertempat pada Atlas Sports Club Malang. Latihan dilakukan dengan intensitas sedang (60-70% HR max), frekuensi 3x/minggu selama 8 minggu. Analisis kadar leptin *pretest* dan *posttest* melalui teknik *Enzyme*

Link Immunosorbent Assay (ELISA). Teknik analisis datanya yaitu melalui pengujian *Paired Samples T-Test* disertai tingkat signifikan 5%.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Penelitian

Hasil analisis deskriptif *Independent Samples T-Test* karakteristik rata-rata subjek yang diteliti mencakup usia, berat badan (kg), tinggi badan (m), *percentage body fat* (PBF), *Body Mass Index* (BMI), *resting heart rate* (RHR) pada kelompok kontrol (K₁) dan kelompok latihan resisten (K₂) bisa diamati di Tabel 1

Tabel 1. Analisis Karakteristik Subjek Penelitian

Variabel	Kelompok	n	Mean	SD	Normalitas	p-value
Usia (tahun)	K ₁	9	22.67	1.80	0.231	0.464
	K ₂	9	23.22	1.30	0.368	
Tinggi Badan (m)	K ₁	9	1.57	6.30	0.335	0.213
	K ₂	9	1.53	4.67	0.300	
Berat Badan (kg)	K ₁	9	69.36	9.15	0.471	0.820
	K ₂	9	70.62	13.69	0.132	
BMI (kg/m ²)	K ₁	9	33.62	11.59	0.101	0.405
	K ₂	9	30.02	4.97	0.102	
PBF (%)	K ₁	9	34.26	2.56	0.887	0.589
	K ₂	9	33.41	3.81	0.463	
RHR (bpm)	K ₁	9	86.17	3.86	0.727	0.451
	K ₂	9	89.67	13.03	0.085	

Keterangan: BMI: indeks massa tubuh; PBF: persentasi lemak tubuh; RHR: detak jantung istirahat; K₁: kelompok kontrol; K₂: kelompok Latihan beban.

Berdasarkan Tabel 1 analisis deskriptif memperlihatkan data rata-rata karakteristik subjek di masing-masing kelompoknya cenderung sama. Hasil pengujian *Independent Samples T-Test* tak menemukan rata-rata yang tidak sama serta amat signifikan dalam data karakteristik subjek yang diteliti di masing-masing kelompoknya ($p > 0.05$). Penganalisisan kadar rata-rata leptin dari *pretest* dengan *posttest* di kedua kelompoknya disajikan pada sub bab dibawah ini.

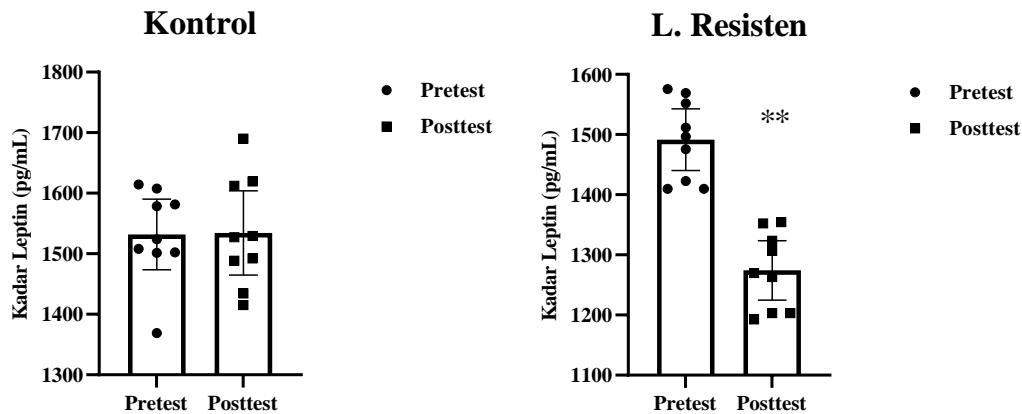
Berdasarkan hasil temuan di atas ditemukan kadar rata-rata leptin yang menurun antara *pretest* dengan *posttest* pada kedua kelompok yang disajikan di Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Kadar Leptin Pretest dan Posttest pada Kedua Kelompok

Kelompok	Pengamatan	n	Mean	SD	Normalitas	p-value
K ₁	Pretest	9	1531.87	75.95	0.149	0.928
	Posttest	9	1534.37	90.69	0.228	
K ₂	Pretest	9	1491.41	66.56	0.694	0.000**
	Posttest	9	1274.34	64.22	0.219	

Keterangan: K₁: Kelompok kontrol; K₂: Kelompok latihan beban, (**) Menunjukkan nilai signifikan dengan pretest ($p < 0.001$).

Berdasarkan Tabel 2 hasil analisis deskriptif menunjukkan terdapat penurunan rata-rata kadar leptin antara *pretest* dengan *posttest* pada K₂, sedangkan pada K₁ cenderung mengalami peningkatan. Hasil pengujian *Paired Sample T-Test* ditemukan ada penurunan kadar rata-rata leptin yang signifikan antara *pretest* dengan *posttest* pada K₂ ($p=0.000$; $p<0.001$), lebih lanjut dalam K₁ tak memperlihatkan kadar rata-rata leptin yang berbeda secara bermakna ($p=0.928$; $p>0.05$). Berikut bisa diamati dalam Gambar 1.



Keterangan: (**) Menunjukkan nilai signifikan dengan *pretest* ($p<0.001$).

Gambar 1. Rata-rata kadar leptin saat *pretest* serta *posttest* dalam kedua kelompok

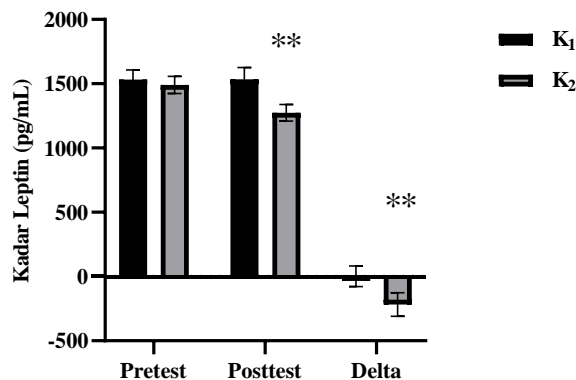
Hasilnya memperlihatkan ditemukan kadar leptin yang menurun sesudah latihan resisten selama 8 minggu, sedangkan pada kelompok kontrol cenderung mengalami peningkatan yang bisa diamati dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Kadar Leptin Pre, Post, dan Delta pada Kedua Kelompok

Pengamatan	Kelompok	n	Mean	SD	Normalitas	p-value
Pretest	K ₁	9	1531.87	75.95	0.149	0.247
	K ₂	9	1491.41	66.56	0.228	
Posttest	K ₁	9	1534.36	90.68	0.694	0.000**
	K ₂	9	1274.34	64.22	0.219	
Delta	K ₁	9	2.49	80.25	0.686	0.000**
	K ₂	9	-217.07	91.46	0.979	

Keterangan: K₁: Kelompok kontrol; K₂: Kelompok latihan beban. (*) Memperlihatkan nilainya signifikan dengan K₁ ($p<0.05$). (**) Memperlihatkan nilainya signifikan dengan K₁ ($p<0.001$).

Berdasarkan Tabel 3 hasil analisis deskriptif memperlihatkan kadar rata-rata leptin *pretest* K₁, dan K₂, cenderung sama, sedangkan kadar leptin *posttest*, delta mengalami penurunan dengan penurunan tertinggi terjadi pada K₂, sedangkan pada K₁ mengalami sedikit peningkatan. Hasil uji normalitas memperlihatkan pendistribusian data rata-rata kadar leptin *pretest*, *posttest*, serta delta oleh masing-masing kelompoknya adalah normal ($p>0.05$) (Terlampir). Hasil pengujian *Independent Samples T Test* memperlihatkan tak dijumpai kadar rata-rata leptin yang berbeda secara signifikan saat *pretest* ($p>0.05$), selanjutnya rata-rata leptin *posttest*, dan delta dijumpai perbedaan bermakna antara kedua kelompok ($p=0.000$; $p<0.001$) dan ($p=0.000$; $p<0.001$). Berikutnya bisa diamati di Gambar 2 di bawah.



Keterangan: (**) Menunjukkan nilai signifikan dengan K₁ ($p<0.001$).

Gambar 2. Rata-rata kadar leptin *pretest*, *posttest*, dan delta pada kedua kelompok

3.2. Pembahasan Penelitian

Subjek penelitian ini adalah perempuan obesitas berusia 20-25 tahun berjumlah 18 orang dengan dikelompokkan atas dua kelompok, yakni kontrol (K₁) serta latihan beban (K₂). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa rata-rata usia kelompok K₁ (22,67) tahun dan kelompok K₂ (23,22) tahun. Rata-rata tinggi badan kelompok K₁ (1,57) m dan kelompok K₂ (1,53) m. Rata-rata berat badan kelompok K₁ (69,36) kg dan kelompok K₂ (70,62) kg. Rata-rata indeks masa tubuh kelompok K₁ (33,62) kg/m² dan K₂ (30,2) kg/m². Rata-rata PBF kelompok K₁ (34,26) % dan kelompok K₂ (33,41) %. Rata-rata RHR kelompok K₁ (86,17) bpm dan kelompok K₂ (89,67) bpm. Hasil uji *Independent Sample T-Test* dalam data karakteristik subjek yang diteliti tak dijumpai perbedaan dalam rata-rata data karakteristik atas subjek yang diteliti di seluruh kelompok yang diperoleh hasil bernilai ($p>0.05$) (Tabel 1).

Hasil temuan saat meneliti kali ini didukung penelitian sebelumnya dari Sugiharto et al. (2021) yang memperoleh hasil bahwa tak ditemukan perbedaan pada karakteristik subjek penelitian yang bermakna dari kelompok kontrol dan Latihan beban. Selanjutnya didukung pula oleh penelitian (Rezaeeshirazi, 2022), melaporkan tak dijumpai perbedaan bermakna dalam karakteristik subjek penelitian dari kelompok kontrol dengan kelompok latihan. Perihal tersebut menunjukkan peneliti mengendalikan penuh data karakteristik pada subyek yang

diteliti, dengan demikian jika terjadi penurunan kadar leptin maka perihal ini berkemungkinan diakibatkan dari dampak latihan, bukan disebabkan oleh karakteristik subjek.

Dari hasil temuan di atas menunjukkan ditemukan penurunan kadar rata-rata leptin secara signifikan dari *pretest* dengan *posttest* dalam kelompok latihan beban (K_2) sedangkan pada kelompok kontrol (K_1) perubahan yang terjadi tidak signifikan dibandingkan dengan kelompok latihan beban (K_2) (Tabel 2). Hal ini membuktikan bahwa latihan beban memiliki pengaruh pada menurunnya kadar leptin pada perempuan obesitas. Hasil ini didukung oleh penelitian (Murawska-Ciałowicz et al., 2022) yang mengatakan latihan beban dapat menurunkan kadar leptin pada wanita obesitas. Penelitian lain melaporkan bahwa terdapat penurunan kadar leptin plasma yang kecil namun konsisten setelah latihan olahraga kronis (Fedewa et al., 2018). Efek dari latihan olahraga tampaknya sebagian besar didorong oleh peningkatan komposisi tubuh, khususnya penurunan % Lemak. Namun, penurunan tersebut juga menunjukkan peningkatan sensitivitas leptin, bahkan tanpa adanya penurunan berat badan atau penurunan % Lemak. Hasil ini semakin mendukung peran latihan olahraga sebagai bagian dari program pengelolaan berat badan yang efektif. Latihan merupakan salah satu rangsangan yang melibatkan seluruh sistem tubuh termasuk sistem syaraf, otot, metabolisme, maupun hormon (Lupita et al., 2020).

Dalam pelaksanaan penelitiannya, dilakukan pelatihan dalam waktu 8 minggu serta di dalamnya ada 3 sesi latihan tiap minggunya. Penelitian (Ozcelik et al., 2004) mengamati penurunan leptin sebesar 41,41% setelah 12 minggu latihan ketahanan, menggunakan 3-4 sesi tiap minggu. Dalam studi (Sari et al., 2006) setelah 4 minggu pelatihan pada wanita obesitas dengan rata-rata BMI = 40,7 kg/m², didapatkan penurunan konsentrasi leptin yang signifikan meskipun tidak ada penurunan berat badan. Pelatihan terdiri dari latihan harian selama 45 menit, dengan intensitas 60-80% HRmax. Sesi latihan diadakan setiap hari, menunjukkan bahwa efek latihan bergantung pada frekuensi aktivitas. Pada frekuensi lebih rendah, perlu lebih banyak waktu dalam rangka tercapainya hasil yang serupa. Frekuensi dan intensitas latihan pada penelitian tersebut serupa dalam penelitian yang peneliti lakukan. Pada penelitian ini, penurunan kadar leptin yang signifikan terdapat pada kelompok latihan beban (K_2). Perubahan tersebut mengarah pada kesimpulan bahwa perubahan kadar leptin terbesar terjadi pada subjek yang melakukan latihan.

Latihan secara teratur dalam jangka waktu panjang terbukti menurunkan kadar leptin pada subjek obesitas yang diikuti dengan penurunan berat badan (Kang et al., 2013; Koga et al., 2014). Hal ini disebabkan oleh peningkatan penguraian peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator-1-alpha (PGC-1 α) akibat dari kontraksi otot rangka maupun otot jantung, sehingga memicu pembentukan turunannya yaitu fibronectin type III domain-containing protein 5 (FNDC5), kemudian FNDC5 akan dipecah dalam bentuk irisin dan disirkulasikan menuju jaringan adiposa (Fatouros, 2018). Ketika berada pada jaringan adiposa, irisin akan menstimulasi terjadinya fat browning yang diakibatkan oleh biogenesis mitokondria sehingga lemak yang berwarna putih akan menjadi sedikit kecoklatan yang kemudian akan memicu aktivasi Uncoupling Protein 1 (UCP1), sehingga memicu terjadinya peningkatan suhu (thermogenesis) dan energy expenditure (Fatouros, 2018). Tingginya pengeluaran energi akan memicu penurunan massa lemak dan pada akhirnya juga dapat menurunkan ekspresi dari leptin (García-Hermoso et al., 2017).

4. Simpulan

Menurut pengujian *Paired Sample T-Test* dalam hasil analisis dan pembahasan yang signifikan, bahwa latihan beban yang dilakukan dengan intensitas sedang, yang berfrekuensi 3 kali dalam seminggu dalam waktu 8 minggu, memiliki pengaruh terhadap perubahan kadar leptin pada perempuan obesitas. Dari hasil temuan penelitiannya, membuat peneliti berkeinginan untuk menyarankan peneliti pada masa mendatang yang berkeinginan melaksanakan penelitian yang bertopik sama untuk menambah variabel tambahan lainnya di samping variabel yang saat ini diteliti. Selain itu, penelitian selanjutnya juga dapat menggunakan parameter lain sebagai solusi efektif bagi penderita obesitas dan diharapkan mampu memperluas subjek yang diteliti. Berdasarkan pelaksanaan serta temuan saat meneliti harapannya mampu memberikan manfaat dalam rangka menstabilkan frekuensi latihan yang optimal dalam pengelolaan obesitas di masa yang akan datang.

Daftar Rujukan

- Azizi, M. (2011). The effect of 8-weeks aerobic exercise training on serum LEPTIN in un-trained females. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.03.343>
- Dieli-Conwright, C. M., Courneya, K. S., Demark-Wahnefried, W., Sami, N., Lee, K., Sweeney, F. C., Stewart, C., Buchanan, T. A., Spicer, D., Tripathy, D., Bernstein, L., & Mortimer, J. E. (2018). Aerobic and resistance exercise improves physical fitness, bone health, and quality of life in overweight and obese breast cancer survivors: A randomized controlled trial. *Breast Cancer Research*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s13058-018-1051-6>
- Fatouros, I. G. (2018). Is irisin the new player in exercise-induced adaptations or not? A 2017 update. In *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine* (Vol. 56, Issue 4). <https://doi.org/10.1515/cclm-2017-0674>
- Fedewa, M. V., Hathaway, E. D., Ward-Ritacco, C. L., Williams, T. D., & Dobbs, W. C. (2018). The Effect of Chronic Exercise Training on Leptin: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. In *Sports Medicine* (Vol. 48, Issue 6). <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0897-1>
- Gadde, K. M., Martin, C. K., Berthoud, H. R., & Heymsfield, S. B. (2018). Obesity: Pathophysiology and Management. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(1), 69–84. <https://doi.org/10.1016/J.JACC.2017.11.011>
- García-Hermoso, A., Ceballos-Ceballos, R. J. M., Poblete-Aro, C. E., Hackney, A. C., Mota, J., & Ramírez-Vélez, R. (2017). Exercise, adipokines and pediatric obesity: A meta-analysis of randomized controlled trials. In *International Journal of Obesity* (Vol. 41, Issue 4, pp. 475–482). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/ijo.2016.230>
- Higgins, J. K., & Kleimbaum, A. P. (1985). *Design Methodology for randomized clinical trials. USA: Family Health International*. 24–25.
- Izquierdo, A. G., Crujeiras, A. B., Casanueva, F. F., & Carreira, M. C. (2019). Leptin, obesity, and leptin resistance: where are we 25 years later? *Nutrients*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/NU11112704>
- Jaleel, A., Aheed, B., Jaleel, S., Majeed, R., Zuberi, A., Khan, S., Ahmed, B., Shoukat, F., & Hashim, H. (2013). Association of adipokines with obesity in children and adolescents. *Biomarkers in Medicine*, 7(5). <https://doi.org/10.2217/bmm.13.41>
- Kang, S., Kim, K. B., & Shin, K. O. (2013). Exercise training improve leptin sensitivity in peripheral tissue of obese rats. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 435(3). <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2013.05.007>
- Kim, H. J., Lee, H. J., So, B., Son, J. S., Yoon, D., & Song, W. (2016). Effect of aerobic training and resistance training on circulating irisin level and their association with change of body composition in overweight/obese adults: A pilot study. *Physiological Research*, 65(2). <https://doi.org/10.33549/physiolres.932997>
- Koga, S., Kojima, A., Ishikawa, C., Kuwabara, S., Arai, K., & Yoshiyama, Y. (2014). Effects of diet-induced obesity and voluntary exercise in a tauopathy mouse model: Implications of persistent hyperleptinemia and enhanced astrocytic leptin receptor expression. *Neurobiology of Disease*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.nbd.2014.08.015>
- Li, S., Kim, J. Y., & Sim, Y. J. (2020). Effects of 10-week combined training on lipid metabolic regulatory hormones and metabolic syndrome index according to exercise dose in obese male college students. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 16(1). <https://doi.org/10.12965/jer.2040008.004>

- Lupita, M. N., Merawati, D., & Sugiharto, S. (2020). Secretion Of PGC-1 α By Modulating Physical Exercise To Protect Improving Obesity Prevalence. *STRADA Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 9(2). <https://doi.org/10.30994/sjik.v9i2.299>
- Murawska-Ciałowicz, E., Kaczmarek, A., Kałwa, M., & Oniszczyk, A. (2022). Influence of Training and Single Exercise on Leptin Level and Metabolism in Obese Overweight and Normal-Weight Women of Different Age. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph191912168>
- Ozcelik, O., Celik, H., Ayar, A., Serhatlioglu, S., & Kelestimur, H. (2004). Investigation of the influence of training status on the relationship between the acute exercise and serum leptin levels in obese females. *Neuroendocrinology Letters*, 25(5).
- Park, H. K., & Ahima, R. S. (2015). Physiology of leptin: energy homeostasis, neuroendocrine function and metabolism. In *Metabolism: clinical and experimental* (Vol. 64, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2014.08.004>
- Pontzer, H. (2015). Constrained Total Energy Expenditure and the Evolutionary Biology of Energy Balance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 43(3). <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000048>
- Procaccini, C., Jirillo, E., & Matarese, G. (2012). Leptin as an immunomodulator. *Molecular Aspects of Medicine*, 33(1), 35–45. <https://doi.org/10.1016/J.MAM.2011.10.012>
- Rejeki, P. S., Pranoto, A., Prasetya, R. E., & Sugiharto, S. (2021). Irisin serum increasing pattern is higher at moderate-intensity continuous exercise than at moderate-intensity interval exercise in obese females. *Comparative Exercise Physiology*, 17(5). <https://doi.org/10.3920/CEP200050>
- Rezaeeshirazi, R. (2022). Aerobic Versus Resistance Training: Leptin and Metabolic Parameters Improvement in Type 2 Diabetes Obese Men. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 93(3). <https://doi.org/10.1080/02701367.2021.1875111>
- Rohde, K., Keller, M., la Cour Poulsen, L., Blüher, M., Kovacs, P., & Böttcher, Y. (2019). Genetics and epigenetics in obesity. In *Metabolism: Clinical and Experimental* (Vol. 92). <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2018.10.007>
- Rosenbaum, M., & Leibel, R. L. (2014). Role of leptin in energy homeostasis in humans. *Journal of Endocrinology*, 223(1). <https://doi.org/10.1530/JOE-14-0358>
- Sari, R., Balci, M. K., Balci, N., & Karayalcin, U. (2006). Acute effect of exercise on plasma leptin level and insulin resistance in obese women with stable caloric intake. *Endocrine Research*, 32(1–2). <https://doi.org/10.1080/07435800701670070>
- Sugiharto, S., Merawati, D., Susanto, H., Pranoto, A., & Taufiq, A. (2022). The exercise-instrumental music program and irisin levels in younger non-professional athletes. *Comparative Exercise Physiology*, 18(1). <https://doi.org/10.3920/CEP210015>
- Vekic, J., Zeljkovic, A., Stefanovic, A., Jelic-Ivanovic, Z., & Spasojevic-Kalimanovska, V. (2019). Obesity and dyslipidemia. In *Metabolism: Clinical and Experimental* (Vol. 92). <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2018.11.005>
- Zhou, C. J., Huang, S., Liu, J. Q., Qiu, S. Q., Xie, F. Y., Song, H. P., Li, Y. S., Hou, S. Z., & Lai, X. P. (2013). Sweet tea leaves extract improves leptin resistance in diet-induced obese rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 145(1). <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.09.057>