

## PENURUNAN KADAR ASAM LAKTAT PASCA PEMBERIAN MINUMAN DENGAN KADAR VITAMIN C 1000 MG PADA RESIMEN MAHASISWA JAWA TIMUR

Junian Cahyanto Wibawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, STKIP PGRI Trenggalek, Indonesia

\*E-mail: [juniancahyanto96@stkippgritrenggalek.ac.id](mailto:juniancahyanto96@stkippgritrenggalek.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penurunan kadar asam laktat pasca pemberian minuman dengan kadar vitamin C 1.000 mg pada Resimen Mahasiswa Jawa Timur. Penelitian ini adalah *true experiment* dengan rancangan penelitian *the randomized control group posttest-only design* dengan menggunakan subjek 24 laki-laki usia 19-23 tahun, IMT 18.5-24.9 kg/m<sup>2</sup> dan secara random dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu kontrol (n=8, pemberian *exercise*), Vit. C 500 mg (n=8, pemberian *exercise* + Vit. C 500 mg) dan Vit. C 1.000 mg (n=8, pemberian *exercise* + Vit. C 1.000 mg). Pemberian *exercise* dengan cara subjek berlari dengan jarak 2.400 meter yang dilakukan pukul 06.00 WIB. Pemberian minuman yang mengandung Vit. C dilakukan setelah *exercise* dengan dosis 500 mg dan 1.000 mg. Pengukuran kadar asam laktat dilakukan 60 menit pasca pemberian vit. C menggunakan Accutrend Plus Meter. Teknik analisis data menggunakan One Way-ANOVA dan dilanjutkan uji *Tukey's HSD post hoc test* dengan taraf signifikan ( $p < 0.05$ ). Hasil didapatkan rerata kadar asam laktat pada kelompok kontrol ( $3.89 \pm 0.47$ ) mmol/L, Vit. C 500 mg ( $3.06 \pm 0.59$ ) mmol/L, Vit. C 1000 mg ( $2.74 \pm 0.35$ ) mmol/L dan ( $p = 0.000$ ). Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemberian minuman dengan kandungan Vit. C 500 mg dan Vit. C 1.000 mg menurunkan kadar asam laktat 60 menit *post-exercise*.

**Kata Kunci:** Vitamin C; Olahraga; Latihan Fisik; Resimen Mahasiswa

## DECREASE IN LACTIC ACID LEVELS AFTER GIVING DRINKS WITH 1000 MG VITAMIN C CONTENT IN THE EAST JAVA STUDENT REGIMENT

### Abstracts

*This study aims to analyze the decrease in lactic acid levels after giving drinks containing 1,000 mg of vitamin C to the East Java Student Regiment. This research is a true experiment with a randomized control group posttest-only design using 24 male subjects aged 19-23 years, BMI 18.5-24.9 kg/m<sup>2</sup> and randomly divided into three groups, namely control (n=8, giving exercise), Vit. C 500 mg (n=8, giving exercise + Vit. C 500 mg) and Vit. C 1,000 mg (n=8, giving exercise + Vit. C 1,000 mg). The exercise was given by the subject running a distance of 2,400 meters which was carried out at 06.00 WIB. Providing drinks containing Vit. C is carried out after exercise with doses of 500 mg and 1,000 mg. Measurement of lactic acid levels was carried out 60 minutes after administration of vit. C uses Accutrend Plus Meter. The data analysis technique used One Way-ANOVA and continued with the Tukey's HSD post hoc test with a significant level ( $p < 0.05$ ). The results showed that the mean lactic acid levels in the control group were ( $3.89 \pm 0.47$ ) mmol/L, Vit. C 500 mg ( $3.06 \pm 0.59$ ) mmol/L, Vit. C 1000 mg ( $2.74 \pm 0.35$ ) mmol/L and ( $p = 0.000$ ). Based on the research results, it can be concluded that giving drinks containing Vit. C 500 mg and Vit. C 1,000 mg reduces lactic acid levels 60 minutes post-exercise*

**Keywords:** Vitamin C; Exercise; Physical Training; Student Regiment

### PENDAHULUAN

Resimen mahasiswa merupakan komponen cadangan negara yang dibekali ilmu kemiliteran. Dalam pelatihan pendidikan dan latihan dasar

Resimen Mahasiswa sangat menguras fisik sehingga menyebabkan peningkatan tingkat kelelahan. Satu serangan akut dari latihan berat yang berlangsung lama memiliki efek depresi

sementara pada fungsi kekebalan tubuh termasuk kekebalan yang dimediasi sel, kekebalan yang dimediasi hormon, dan perubahan hormone, serta terjadinya akumulasi asam laktat (Shi et al., 2019). Asam laktat merupakan salah satu faktor penanda terjadinya kelelahan. Salah satu fungsi utama otot rangka adalah berguna untuk menggerakkan tubuh manusia (Hagiwara et al., 2024). Selama latihan, kontraksi otot rangka berperan dalam jalur metabolisme aerobik dan anaerobik (Armstrong & Welsman, 2020). Latihan secara teratur dengan intensitas dan durasi yang tepat dapat meningkatkan kapasitas fisik, menghasilkan peningkatan kinerja tubuh dan peningkatan resistensi terhadap kelelahan (Armstrong & Welsman, 2020). Kelelahan otot dapat menurunkan daya tahan saat melakukan latihan (Dambroz, Clemente, & Teoldo, 2022). Banyak peneliti berkonsentrasi pada penelitian hubungan antara nutrisi dan aktivitas fisik. Beberapa diantaranya meneliti efek pemberian nutrisi saat aktivitas fisik dan melihat berbagai respons fisiologis seperti peroksidasi lipid dan asam laktat (Patlar, Baltaci, Mogulkoc, & Gunay, 2017).

Asam laktat merupakan produk akhir dari glikolisis anaerobik, telah menjadi salah satu yang paling penting dari analisis metabolik. Asam laktat dapat dihitung dan di analisis sesuai dengan tingkatan dalam aktivitas fisik (Karpova, Laptev, Andreev, Karyakina, & Karyakin, 2020). Akumulasi asam laktat dalam otot rangka selama latihan anaerobik berkontribusi terhadap kelelahan dan memiliki pengaruh negatif pada kinerja latihan berikutnya (D. Langer, Byrne, Henry, Lewis, & Mattern, 2017). Vitamin C adalah vitamin yang paling umum digunakan sebagai suplemen saat aktivitas fisik. Vitamin C mempunyai nama lain yaitu asam askorbat adalah vitamin yang larut dalam air dan tersedia di beberapa sumber makanan. Vitamin C dengan dosis yang tepat berfungsi sebagai antioksidan. Asupan harian yang direkomendasikan untuk wanita dewasa adalah 75 mg dan untuk pria dewasa adalah 90 mg. Suplemen vitamin C disarankan diberikan pada orang yang sedang melakukan aktivitas fisik berat sebagai penurunan terhadap tingkat kelelahan otot dengan indikator kadar asam laktat (Yimcharoen et al., 2019). Namun, hasil penelitian tentang efek pemberian minuman dengan kandungan Vit. C 500

mg dan Vit. C 1.000 mg terhadap tingkat kelelahan otot masih belum dikupas secara tuntas. Atas dasar latar belakang di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis penurunan kadar asam laktat pasca pemberian minuman dengan kadar Vit. C 500 mg dan Vit. C 1.000 pada Resimen Mahasiswa Jawa Timur.

## METODE

Penelitian ini adalah *true experiment* dengan rancangan penelitian *the randomized control group posttest-only design* dengan menggunakan subjek 24 laki-laki usia 19-23 tahun, indeks masa tubuh (IMT) 18.5-24.9 kg/m<sup>2</sup>, tekanan darah normal, denyut jantung istirahat normal dan secara random dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu kontrol (n=8, pemberian exercise + placebo), Vit. C 500 mg (n=8, pemberian exercise + Vit. C 500 mg) dan Vit. C 1000 mg (n=8, pemberian exercise + Vit. C 1000 mg). Semua prosedur penelitian ini telah disetujui oleh Komisi Etik Penelitian Kesehatan Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga Nomor 34/EC/KEPK/FKUA/2020.

Pemberian *exercise* dengan cara subjek berlari dengan jarak 2.400 meter yang dilakukan di Stadion Kodam Brawijaya Surabaya pada pukul 06.00 WIB. Pemberian minuman yang mengandung vitamin C dilakukan setelah pemberian *exercise* dengan dosis 500 mg dan 1000 mg.

Pengukuran tinggi badan menggunakan stadiometer (Seca 213, Hammer Steindamm, Germany) (Rejeki et al., 2023). Pengukuran berat badan menggunakan electronic scale (Tech 05®, China) (Putera et al., 2023). IMT diukur dengan menghitung berat badan (kg) dibagi dengan tinggi badan dalam meter kuadrat (m<sup>2</sup>) (Raharjo et al., 2021). Tekanan darah diukur menggunakan tensi meter digital OMRON (OMRON Model HEM-7130 L, Omron Co., Ltd. JAPAN) (Putera et al., 2023). Denyut jantung istirahat diukur menggunakan PO 30 Pulse Oximeter. Pengukuran kadar asam laktat dilakukan 60 menit pasca pemberian minuman dengan kandungan vitamin C menggunakan Accutrend Plus Meter (Accutrend® lactate meter, Roche Diagnostics, Mannheim, Germany) (Perez et al., 2008) dengan satuan konsentrasi mmol/L.

Teknik analisis data menggunakan *software statistik packet for social science* (SPSS) versi 21

(Chicago, IL, USA). Uji normalitas menggunakan uji *Shapiro-Wilk*, sedangkan uji homogenitas menggunakan uji *Levene test*. Data yang berdistribusi normal dan memiliki varian homogen, di uji menggunakan *Analysis of Varians* (ANOVA) dan dilanjutkan uji *Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) post hoc test* dengan taraf signifikan ( $p < 0.05$ ). Semua data ditampilkan dengan  $\text{mean} \pm \text{SD}$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

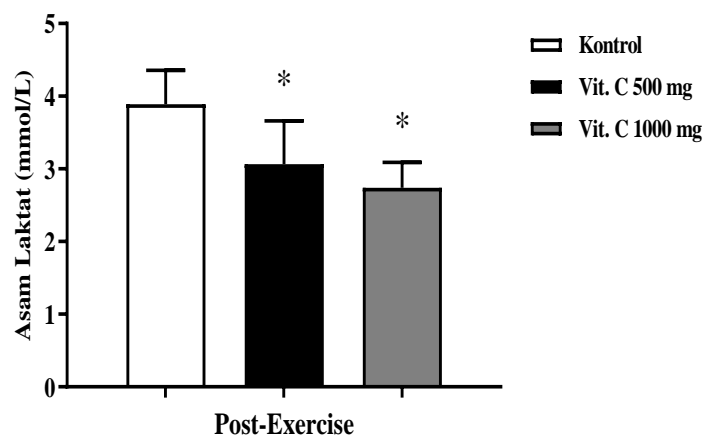
### Hasil

Hasil analisis karakteristik subjek penelitian pada masing-masing kelompok dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Subjek Penelitian

Parameter	n	Kelompok			P-Value
		Kontrol	Vit. C 500 mg	Vit. C 1000 mg	
Usia (tahun)	8	19.75 $\pm$ 1.39	20.12 $\pm$ 1.36	20.50 $\pm$ 1.41	0.566
Tinggi Badan (m)	8	1.68 $\pm$ 0.07	1.68 $\pm$ 0.03	1.66 $\pm$ 0.06	0.578
Berat Badan (kg)	8	62.12 $\pm$ 6.42	60.37 $\pm$ 6.76	59.00 $\pm$ 5.55	0.614
Indeks Masa Tubuh (kg/m <sup>2</sup> )	8	21.87 $\pm$ 1.13	21.38 $\pm$ 2.09	21.47 $\pm$ 1.17	0.799
Tekanan Darah Sistolik (mmHg)	8	116.25 $\pm$ 7.44	111.25 $\pm$ 8.34	112.50 $\pm$ 7.07	0.411
Tekanan Darah Diastolik (mmHg)	8	81.25 $\pm$ 3.53	81.25 $\pm$ 6.41	81.25 $\pm$ 6.41	1.000
Denyut Jantung Istirahat (bpm)	8	67.50 $\pm$ 7.54	71.00 $\pm$ 9.74	68.50 $\pm$ 9.89	0.735

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan rerata data karakteristik subjek penelitian pada semua kelompok. Hasil analisis kadar asam laktat pada masing-masing kelompok dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rerata Kadar Asam Laktat pada Masing-Masing Kelompok

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan bahwa pemberian minuman dengan kandungan Vit. C menurunkan kadar asam laktat. Hasil uji One Way-ANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan rerata kadar asam laktat antar kelompok. Hasil uji Tukey HSD *post hoc test* menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan rerata kadar asam laktat antara Vit. C 500 mg dengan kontrol ( $p = 0.007$ ), Vit. C 1.000 mg dengan kontrol ( $p = 0.000$ ), sedangkan Vit. C 500 mg dengan Vit. C 1.000 mg tidak menunjukkan perbedaan signifikan ( $p = 0.387$ ).

### Pembahasan

Kelelahan otot rangka secara umum didefinisikan sebagai penurunan kekuatan atau produksi tenaga dalam respons terhadap aktivitas kontraktil otot dan meningkatkan resiko cedera (Dambroz et al., 2022). Kehilangan aktivitas kontraktil otot dapat memicu terjadinya kelelahan yang di timbulkan dari aktivitas fisik (Dambroz et al., 2022). Ketika memahamai aktivitas kelelahan otot kita harus melihat dari seluruh aspek molekular terjadinya kelelahan (Constantin-Teodosiu, D Constantin, 2021). Sifat kelelahan otot tergantung pada karakteristik latihan, yaitu, intensitas dan durasinya, misalnya, kelelahan selama lari maraton berbeda dari kelelahan selama lari sprint berulang (Finsterer & Drory, 2016). Dalam sebuah penelitian menunjukkan bahwa penurunan kontraksi otot berasal dari perubahan rangsangan otot, akumulasi produk samping metabolisme, produksi spesies oksigen reaktif, dan

gerakan  $\text{Ca}^{2+}$  dalam kompartemen serat otot (Debold, 2015). Pada manusia, kelelahan bermanifestasi sebagai ketidakmampuan untuk melanjutkan tugas motorik pada intensitas yang dibutuhkan, yang pada akhirnya menyebabkan kelelahan (Finsterer & Mahjoub, 2014).

Pada intensitas submaksimal, kemampuan untuk melawan kelelahan telah dikaitkan dengan ketersediaan substrat dan terutama glikogen dalam serat otot, aktivasi otot, jenis serat otot, aktivitas enzim mitokondria dan oksidatif (Black *et al.*, 2017). Juga, ketersediaan energi pada tingkat yang dibutuhkan oleh glikolisis anaerob dan pemecahan fosfokreatin telah dikaitkan dengan resistensi kelelahan (Wyon & Koutedakis, 2013). Jelas dari penjelasan di atas bahwa pengukuran pada kelelahan adalah tugas khusus. Seseorang harus mempertimbangkan bagaimana seseorang mendefinisikan kelelahan dari sudut pandang fungsional untuk populasi tertentu dan jenis aktivitas mereka. Karena berbagai biomarker, di dalam darah dapat memberikan informasi metabolik yang menarik untuk membantu dalam penafsiran mekanisme yang mendasari kelelahan.

Asam laktat merupakan produk dari pemecahan glikolisis anaerobik karbohidrat dan cepat berdisosiasi menjadi laktat dan proton (ion hidrogen) yang meningkatkan asidosis. Akumulasi asam laktat dianggap menunjukkan pasokan oksigen yang tidak memadai pada otot yang bekerja, meskipun pengiriman oksigen tidak selalu menjadi penyebab utama produksi asam laktat (Richardson *et al.*, 2015). Asam laktat atau asidosis laktat pada otot yang bekerja menyebabkan penghambatan proses kontraktile otot, baik secara langsung atau melalui metabolisme, yang mengakibatkan penurunan kinerja saat aktivitas fisik (Kamel, Oh, & Halperin, 2020). Asidosis laktat sangat berkontribusi terhadap kelelahan (Kamel *et al.*, 2020). Pengukuran asam laktat pada darah digunakan sebagai metode praktis untuk memperkirakan status asam basa dalam otot. Hal demikian di asumsikan bahwa asam laktat pada darah mencerminkan kondisi asam laktat di otot, meskipun hal ini tidak selalu terjadi, terutama selama latihan intens dan intermiten, dimana kehilangan asam laktat dari otot yang bekerja dan distribusi laktat ke otot lain tidak seimbang.

Akumulasi asam laktat pada otot juga merupakan kunci terjadinya kelelahan ketika atlet

melakukan latihan yang intens. Perubahan metabolisme seperti pasokan energi yang terbatas merangsang akumulasi asam laktat di otot dengan mengubah kondisi metabolisme dari aerob menjadi anaerob (Halim, Sabri, Dek, Hamid, & Haniff Jaafar, 2017). Akibatnya, asidosis intraseluler terjadi pada atlet dan merangsang kelelahan dengan memperlambat metabolisme energi pada otot. Pada dasarnya, kehadiran laktat sangat penting dalam menghambat kelelahan otot ketika atlet melakukan latihan yang intens. Saat otot mengalami aktivitas yang intens, konsentrasi laktat meningkat dalam plasma. Selama latihan intensif, pemecahan glikogen secara anaerob menginduksi akumulasi laktat dan meningkatkan metabolit plasma seperti asam laktat dalam cairan intraseluler (Halim *et al.*, 2017). Asam laktat kemudian akan dipisahkan menjadi ion hidrogen. Perlu dicatat bahwa kondisi pH rendah menghambat enzim yang terlibat dalam metabolisme energi seperti fosfofruktokinase dan fosforilase, menghasilkan pengurangan pasokan ATP untuk proses tubuh yang membutuhkan energi. Karena itu, ini akan berkontribusi terhadap kelelahan pada atlet saat melakukan latihan yang intens. Meskipun demikian, sedikit yang diketahui tentang cara mengatasi kelelahan melalui mekanisme ini (Halim *et al.*, 2017).

Selain itu banyak faktor yang dapat mempengaruhi kondisi asam laktat saat aktivitas fisik, seperti nutrisi dan suplemen. Saat aktivitas fisik, terjadi kontraksi otot rangka dan membuat produksi energi seluler secara terus-menerus agar tubuh dapat tetap beraktivitas (Brooks, 2018). Akumulasi asam laktat dalam darah tergantung pada keseimbangan antara produksi laktat dengan aktivitas otot dan penguraian laktat oleh hati dan jaringan lain. Sistem glikolitik adalah sumber energi utama untuk otot agar tetap aktif selama latihan intensitas tinggi, dan laktat terakumulasi ketika tidak terdapat pasokan oksigen. Ketika laktat menumpuk di otot, konsentrasi ion hidrogen otot meningkat dan pH menurun, aktivasi fosfofruktokinase, suatu enzim pengendali laju dalam sistem glikolitik, berkurang, menghambat sintesis ulang ATP. Akibatnya, kekuatan otot, yang diperlukan untuk latihan intensitas tinggi menjadi sulit karena akumulasi laktat menyebabkan kelelahan fisik. Selain penyerapan glukosa yang ditingkatkan dan oksidasi glukosa yang dilemahkan, glikoneogenesis dari laktat di

otot rangka dapat berkontribusi terhadap akumulasi glikogen. Ada ketidakpastian dan kontroversi mengenai apakah sintesis glikogen dari laktat terjadi di otot rangka, karena beberapa penelitian gagal mendeteksi enzim yang mengkatalisis konversi laktat menjadi glikogen (Takahashi, Kitaoka, Matsunaga, & Hatta, 2020).

Kelelahan biasanya terjadi ketika seseorang melakukan latihan yang intens. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal termasuk penyebab utama seperti stres oksidatif, dehidrasi dan akumulasi asam laktat pada otot (Halim *et al.*, 2017). Meskipun dianjurkan untuk gaya hidup sehat, olahraga ringan diketahui menyebabkan stres oksidatif, peradangan, dan cedera otot. Oleh karena itu, berbagai upaya dilakukan untuk mengembangkan strategi diet untuk melawan stres oksidatif yang disebabkan oleh aktivitas fisik (Baltaci, Mogulkoc, & Baltaci, 2016). Telah diketahui bahwa vitamin C memiliki peran pencegahan dalam kerusakan jaringan yang terjadi oleh radikal bebas, setelah itu telah direkomendasikan dapat mencegah kerusakan oksidatif pada olahragawan (Bunpo, Chatarurk, Intawong, Naosuk, & Klanginsirikul, 2021). Penelitian ini menunjukkan terjadi penurunan kadar asam laktat pasca aktivitas fisik pada kelompok pemberian vitamin C. Laktat diketahui sebagai sumber energi dan sebagai prekursor pada proses gluconeogenesis. Perpindahan laktat terjadi secara intraseluler maupun interseluler (Brooks, 2020). Radikal bebas diketahui juga dapat meningkatkan kadar asam laktat. Vitamin C juga diketahui dapat menghambat radikal bebas. Penghambatan radikal bebas ini dapat menghambat HIF-1 $\alpha$  sehingga tidak dapat mencegah enzim piruvat dehidrogenase dan inaktivasi enzim laktat dehidrogenase sehingga menurunkan produksi laktat. Selain menurunkan aktivasi HIF-1 $\alpha$  vitamin C juga dapat meredam radikal bebas sehingga mencegah disfungsi mitokondria akibat ROS dan meningkatkan aktivitas mitokondria untuk menghasilkan ATP (Tauffenberger, Fiumelli, Almustafa, & Magistretti, 2019).

Demikian pula, suplementasi 1000 mg vitamin C telah bermanfaat mempengaruhi pada olahragawan khususnya menghambat terjadinya radikal bebas dengan cara meningkatkan antioksidan SOD (Bunpo *et al.*, 2021). Pada penelitian yang dilakukan oleh Patlar *et al.* (2017) menunjukkan bahwa nilai kadar asam laktat pada

subjek yang mengalami kelelahan pasca aktivitas fisik secara signifikan lebih tinggi daripada saat istirahat. Demikian pula, suplementasi vitamin C selama 4 minggu tidak mengubah nilai asam laktat saat istirahat. Namun, terjadi penurunan yang signifikan pada kadar asam laktat setelah melakukan aktivitas fisik. Vitamin C adalah salah satu vitamin terkemuka yang harus ditambahkan untuk menunjang kinerja atlet dalam menghambat terjadinya kelelahan akibat dari penumpukan asam laktat.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemberian minuman dengan kandungan Vit. C 500 mg dan Vit. C 1000 mg menurunkan kadar asam laktat 60 menit *post-exercise*. Tetapi pemberian minuman dengan kandungan Vit. C 1000 mg lebih efektif dalam menurunkan kadar asam laktat *post-exercise* dibandingkan minuman dengan kandungan Vit. C 500 mg pada Resimen Mahasiswa Jawa Timur.

## TERIMA KASIH

Ucapkan terima kasih disampaikan kepada STAF KOMANDO RESIMEN MAHASISWA MAHASURYA Jawa Timur yang telah berkenan untuk menerima kegiatan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Armstrong, N., & Welsman, J. (2020). The Development of Aerobic and Anaerobic Fitness with Reference to Youth Athletes. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 2(4), 275–286. <https://doi.org/10.1007/s42978-020-00070-5>
- Baltaci, S. B., Mogulkoc, R., & Baltaci, A. K. (2016). Resveratrol and exercise (review). *Biomedical Reports*, 5(5), 525–530. <https://doi.org/10.3892/br.2016.777>
- Black, M. I., Jones, A. M., Blackwell, J. R., Bailey, S. J., Wylie, L. J., McDonagh, S. T. J., ... Vanhatalo, A. (2017). Muscle metabolic and neuromuscular determinants of fatigue during cycling in different exercise intensity domains. *Journal of Applied Physiology*, 122(3), 446–459. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00942.2016>
- Brooks, G. A. (2018). The Science and Translation

- of Lactate Shuttle Theory. *Cell Metabolism*, 27(4), 757–785.  
<https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.03.008>
- Brooks, G. A. (2020). Lactate as a fulcrum of metabolism. *Redox Biology*, 35(February), 101454.  
<https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101454>
- Bunpo, P., Chatarurk, A., Intawong, K., Naosuk, K., & Klangsinrikul, P. (2021). Effects of ascorbic acid supplementation on immune status in healthy women following a single bout of exercise. *Sport Sciences for Health*, 17(3), 635–645.  
<https://doi.org/10.1007/s11332-020-00726-3>
- Constantin-Teodosiu, D Constantin, D. (2021). Molecular mechanisms of muscle hypertrophy. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 11587. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/21/11587>
- D. Langer, M., Byrne, H. K., Henry, T., Lewis, G., & Mattern, C. (2017). The Effect of Low Intensity Wearable Ultrasound on Blood Lactate and Muscle Performance after High Intensity Resistance Exercise. *Journal of Exercise Physiology*, 20(4), 132–146.
- Dambroz, F., Clemente, F. M., & Teoldo, I. (2022). The effect of physical fatigue on the performance of soccer players: A systematic review. *PLoS ONE*, 17(7 July), 1–19.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270099>
- Debold, E. P. (2015). Potential molecular mechanisms underlying muscle fatigue mediated by reactive oxygen and nitrogen species. *Frontiers in Physiology*, 6(SEP), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00239>
- Finsterer, J., & Drory, V. E. (2016). Wet, volatile, and dry biomarkers of exercise-induced muscle fatigue Pathophysiology of musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 17(1), 1–13.  
<https://doi.org/10.1186/s12891-016-0869-2>
- Finsterer, J., & Mahjoub, S. Z. (2014). Fatigue in Healthy and Diseased Individuals. *American Journal of Hospice and Palliative Medicine*, 31(5), 562–575.  
<https://doi.org/10.1177/1049909113494748>
- HAGIWARA, M., MOCHIDA, T., & HIJIKATA, W. (2024). Model-based control of skeletal muscle using musclecontraction models. *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 19(3), 1–15.  
<https://doi.org/10.1299/jbse.24-00017>
- Halim, H. H., Sabri, M., Dek, P., Hamid, A. A., & Haniff Jaafar, A. (2017). Fatigue onset through oxidative stress, dehydration and lactic acid accumulation and its in vivo study using experimental animals. *Journal of Advanced Review on Scientific Research Journal Homepage*, 35(1), 1–12.
- Kamel, K. S., Oh, M. S., & Halperin, M. L. (2020). L-lactic acidosis: pathophysiology, classification, and causes; emphasis on biochemical and metabolic basis. *Kidney International*, 97(1), 75–88.  
<https://doi.org/10.1016/j.kint.2019.08.023>
- Karpova, E. V., Laptev, A. I., Andreev, E. A., Karyakina, E. E., & Karyakin, A. A. (2020). Relationship Between Sweat and Blood Lactate Levels During Exhaustive Physical Exercise. *ChemElectroChem*, 7(1), 191–194.  
<https://doi.org/10.1002/celec.201901703>
- Nimptsch, K., Konigorski, S., & Pischon, T. (2019). Diagnosis of obesity and use of obesity biomarkers in science and clinical medicine. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 92, 61–70.  
<https://doi.org/10.1016/j.metabol.2018.12.006>
- Patlar, S., Baltaci, A. K., Mogulkoc, R., & Gunay, M. (2017). Effect of vitamin C supplementation on lipid peroxidation and lactate levels in individuals performing exhaustion exercise. *Annals of Applied Sport Science*, 5(2), 21–27.  
<https://doi.org/10.18869/acadpub.aassjournal.5.2.21>
- Richardson, R. S., Wary, C., Wray, D. W., Hoff, J., Rossiter, H. B., Layec, G., & Carlier, P. G. (2015). MRS evidence of adequate O2 supply in human skeletal muscle at the onset of exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(11), 2299–2307.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000675>
- Shi, Y., Shi, H., Nieman, D. C., Hu, Q., Yang, L., Liu, T., ... Chen, P. (2019). Lactic acid accumulation during exhaustive exercise impairs release of neutrophil extracellular traps in mice. *Frontiers in Physiology*, 10(JUN).  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00709>
- Takahashi, K., Kitaoka, Y., Matsunaga, Y., &

- Hatta, H. (2020). Effect of post-exercise lactate administration on glycogen repletion and signaling activation in different types of mouse skeletal muscle. *Current Research in Physiology*, 3(May), 34–43.  
<https://doi.org/10.1016/j.crphys.2020.07.002>
- Tauffenberger, A., Fiumelli, H., Almustafa, S., & Magistretti, P. J. (2019). Lactate and pyruvate promote oxidative stress resistance through hormetic ROS signaling. *Cell Death and Disease*, 10(9).  
<https://doi.org/10.1038/s41419-019-1877-6>
- Wyon, M. A., & Koutedakis, Y. (2013). Muscular fatigue: considerations for dance. *Journal of Dance Medicine & Science : Official Publication of the International Association for Dance Medicine & Science*, 17(2), 63–69.  
<https://doi.org/10.12678/1089-313X.17.2.63>
- Yimcharoen, M., Kittikunnathum, S., Suknikorn, C., Nak-On, W., Yeethong, P., Anthony, T. G., & Bunpo, P. (2019). Effects of ascorbic acid supplementation on oxidative stress markers in healthy women following a single bout of exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 1–9.  
<https://doi.org/10.1186/s12970-019-0269-8>