

This is a self-archived version of an original article. This version may differ from the original in pagination and typographic details.

Author(s): Peltonen, Juha E.; Gagnon, Dominique D.

Title: Elimistö lujilla ääriolosuhteissa

Year: 2024

Version: Published version

Copyright: © Liikuntatieteellinen seura 2024

Rights: In Copyright

Rights url: <http://rightsstatements.org/page/InC/1.0/?language=en>

Please cite the original version:

Peltonen, J. E., & Gagnon, D. D. (2024). Elimistö lujilla ääriolosuhteissa. *Liikunta ja tiede*, 61(2), 55-58.

JUHA E PELTONEN

HULA- Helsingin urheilulääkäriasema
Urheilulääketieteen säätiö
liikuntalääketiede, lääketieteellinen tiedekunta
Helsingin yliopisto
juha.peltonen@hula.fi

DOMINIQUE D GAGNON

HULA- Helsingin urheilulääkäriasema
Urheilulääketieteen säätiö
liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Dominique.gagnon@jyu.fi

Elimistö lujilla ääriolosuhteissa

Ympäristöfysiologia lisää tietämystä urheilijoihin ja ääriolosuhteissa toimiviin kohdistuvista ympäristön vaikutuksista. Elimistöön vaikuttavat niin kuumuus ja kylmyys kuin hapen liian vähäinen tai runsas saanti.



Kuva: Antero Aaltonen

YMPÄRISTÖFYSIOLOGIA ON MONITAHOINEN tieteenala, joka tutkii ympäristön vaikutusta biologisiin ja fysiologisiin reaktioihin levossa ja liikunnan aikana. Elävät organismit ja solut mukauttavat toimintaansa lämpötilan, hapen saatavuuden, ilmakehän paineen, saasteiden, painovoiman tai vuorokausirytmien muutoksissa. Nämä tekijät itsenäisesti tai toisiinsa yhdistettynä muokkaavat akuutteja ja kroonisia rasitusvasteita. Ympäristöolosuhteiden vaikutukset kohdistuvat erityisesti sydän- ja verenkiertoelimistöön, vereen, hengityselimistöön, hormonitoimintaan, hermolihasjärjestelmään ja immuunivasteisiin.

Asuminen, harjoittelu, kilpaileminen tai muu toiminta ääriolosuhteissa esimerkiksi korkealla merenpinnan yläpuolella, kuumassa tai kylmässä edellyttävät parempaa ym-

märrystä siitä, miten ympäristö vaikuttaa terveyteemme, turvallisuuteemme ja fyysiseen suoriutuskykyymme. Myös ilmastomuutokseen liittyvät maapallon lämpötilan nousu, lämpöaallot ja kylmät kaudet. Ympäristöfysiologian hallinta on siten yhä tärkeämpää jokapäiväisessä elämässämme, urheilussa ja erilaisissa ammateissa. Vuonna 2023 käynnistetty ympäristöfysiologian ohjelma EP2 FINLAND pyrkii omalta osaltaan parantamaan suomalaista osaamista tällä alueella.

Kuumuus sulattaa suoriutuskykyä

Kuumassa kykyimme tehdä fyysistä työtä heikkenee, mikä vaikuttaa työskentelyyn, harjoitteluun tai kilpailemiseen. Krampit, pahoinvointi, päänsärky sekä liiallinen väsymys ovat varhaisia merkkejä siitä, että suoritus tulisi lo-

pettaa, ja kuumasta ympäristöstä olisi mahdollisuuksien mukaan poistettava. Kuumuuden takia voi menettää tajuntansa, kärsiä lämpöhalvauksesta tai pahimmassa tapauksessa kuolla.

Tokion olympialaisissa vuonna 2021 oli käytössä erilaisia keinoja parantaa urheilijoiden turvallisuutta kuumissa olosuhteissa. Tarjolla oli jäätä ja viilennyslaitteita, ilmastointijärjestelmät helpottivat oleskelua kisakaupungissa ja kilpailuja siirrettiin viilempiin ajankohtiin. Kisoissa rikottiin jopa maailmanennätyksiä kuumuudesta huolimatta. deKorte ym. (2021) kuitenkin osoittivat kestävyys-, teho- ja voimalajien urheilijoiden suoritusk_{y,v}yn kärsivän kuumassa termoneutraaleihin olosuhteisiin verrattuna. Pitkään on tiedetty, että kehon lämpötilan liiallinen nousu laskee maksimaalista hapenottoa (Arngrimsson ym., 2004), paikallista hapen jakelua ja kestävyysuorituskykyä (Gleser & Vogel, 1973).

Pääasiallinen reaktio kuumastressiin on veren virtauksen ohjaaminen sisäelimestä ja lihaksista iholle hikoilun lisäämiseksi ja lämmön poistamiseksi. Samalla hapen jakelu työskenteleviin lihaksiin vähenee, sydämen pumppausteho laskee ja koko sydän- ja verenkiertojärjestelmämme toiminta heikkenee. Verenkierron lisäksi keskus- ja ääreishermoston toiminta sekä lihasten aineenvaihdunta heikkenevät ja rajoittavat kykyämme tehdä työtä (Periard ym., 2021). Onneksi lämpösopeutuminen voi osittain lieventää kuumastressin negatiivisia vaikutuksia. Keskeisiä kuumuuden osatekijöitä voidaan parantaa 7-14 päivän kuuma-adaptaatiolla. Paljon tehtävää riittää, vaikka kuumaosaaminen onkin viime vuosina parantanut.

Kylmäaltistus monesti hyödyksi

Kylmäaltistus laskee kudosten lämpötilaa ja sitä voidaan käyttää vammojen hoitoon, harjoittelusta palautumiseen, hyvinvoinnin tunteen parantamiseen tai mahdollisesti lisäämään harjoittelun hyötyjä (Kwiecien ym., 2020). Enna-

koiva ja samanaikainen viilentäminen kylmävesiupotuksella, jään nielemisellä, kylmäpakkauksilla ja -liiveillä ja viilentävillä suihkeilla avaavat suuria mahdollisuuksia turvallisuuden ja suoritusk_{y,v}yn parantamiseksi kuumassa ympäristössä (Bongers ym., 2015, 2017).

Kylmän käytön on arvioitu aiheuttavan harjoittelun taakan metabolisen kaskadin, joka johtaa mitokondriaalisen massan lisääntymiseen, lihasten proteiinisynteesin alentumiseen ja paikallisen hapen kuljetuksen paranemiseen mikroverisuonistossa (Ihsan ym. 2015, 2020). Nämä kaikki ovat olennaisia vasteita lihasten uudelleenmuovauksessa harjoittelun hyötyjen kannalta.

Kylmä vaikuttaa loistavalta menetelmältä parantaa suoritusk_{y,v}yn. Fuchs ym. (2020) havaitsivat kuitenkin lihasten aminohappojen oton ja myofibrillaarisen proteiinisynteesin alentuvan noin 20 prosenttia käytettäessä kylmäkylpyä voimaharjoituksen jälkeen. Vaste on odotettu, koska matalampi kudosten lämpötila laskee myös aineenvaihduntaa. Kylmän käytöstä vammojen hoidossa ja ennakkoivasta viilentämisestä valmistauduttaessa liikkumaan kuumassa on paljon tietoa. Kehonjäähdytysmenetelmien toistuvaa käyttöä ja niiden mahdollisia vaikutuksia harjoitusvasteisiin on silti tutkittava lisää erityisesti urheilijoilla.

Hypoksia - haussa vuoristo-olojen hyödyt

Useimmat huippu- ja kansainvälisen tason kestävyysurheilijat sekä yhä useammat kamppailu- ja joukkueurheilijat sisällyttävät säännöllisesti hypobaarista hypoksiaa (vuoristo) ja/tai normobaarista hypoksiaa (hypoksiahuone tai -telta) harjoitussuunnitelmaansa (Girard ym., 2023). Jotta harjoittelu korkealla tai hypoksiaolosuhteissa olisi perusteltua, sen on tarjottava etua verrattuna vastaavaan harjoitteluun merenpinnan tasolla. Tämä etu voi perustua ensinnäkin sopeutumiseen hypoksiaan, joka parantaa hapen kuljetusta ja hyödyntämistä. Se voi myös tehostaa harjoittelua tai olla näiden yhdistelmä (Levine & Stray-Gundersen, 2001).

Tarjolla tietoa ympäristöaltistuksista

URHEILUN PARISSA TARVITAAN LISÄTIETOA ympäristöaltistusten, kuten lämmön, kylmän, hypoksian ja hyperoksian vaikutuksista fyysiseen suoritusk_{y,v}yn, turvallisuuteen ja terveyteen. Tietovaje yhdessä ilmastonmuutoksen kanssa voi heikentää urheilijoiden menestystä sekä yksilöiden turvallisuutta ja terveyttä liikuttaessa kuormittavissa ympäristöolosuhteissa.

EP2 FINLAND -ympäristöfysiologian ohjelman tavoitteena on parantaa urheilijoiden, sotilaiden ja kuntoilijoiden fyysistä suoritusk_{y,v}yn, turvallisuutta, terveyttä ja menestystä ympäristöaltistuksiin sopeuduttaessa ja niitä hyödynnettäessä.

EP2 FINLAND tarjoaa viimeisintä tutkimusta, opetusta, koulutusta ja tietoa kaikille, jotka altistuvat haastaville ympäristöolosuhteille ja/tai hyödyntävät niitä. Ohjelma koostuu kolmesta työpaketista: tutkimus, kehitys ja innovaatiot sekä koulutus. Ohjelma tarjoaa helposti saatavilla olevaa tietoa verkkosivuston (www.hula.fi/ep2) kautta, jossa on saatavilla infograafeja (Kuva 1 ja 2), lyhyitä artikkeleita, videoita, opetusta ja mentorointimahdollisuuksia, sekä muita työkaluja, joilla jaetaan avainasioita kuumasta, kylmästä,

hypoksiasta ja hyperoksiasista fyysisen suoritusk_{y,v}yn, turvallisuuden ja terveyden näkökulmasta.



Ohjelmaa toteuttavat asiantuntijat HULA- Helsingin urheilulääkäriasemalta, Jyväskylän yliopistosta, Helsingin yliopistosta, Pääkaupunkiseudun urheiluakatemia Urheasta, Kansallisista olympiavalmennuskeskuksista (Helsinki ja Vuokatti-Ruka), Kisakallion urheiluopistosta, 3K Urheiluopistosta, Maanpuolustuskorkeakoulusta, Huippu-urheilun instituutti KIHU:sta, Suomen Olympiakomiteasta ja Liikuntakeskus Pajulahdesta.

Ohjelma on suunniteltu palvelemaan suomalaista aktiiviväestöä. Tieto on tarkoitettu valmentajille, urheilijoille, kuntoilijoille, sotilaille, muille eri ammattialoissa ääriolosuhteille altistuville ja ylipäätään kaikille enemmän suoritusk_{y,v}yn, terveydestään ja turvallisuudestaan tietoa haluaville. Ohjelmaa rahoittavat opetus- ja kulttuuriministeriö, Urheilupistosäätiö ja Suomen Kulttuurirahaston Päijät-Hämeen rahasto.

Nestevaje kiihdyttää menestyksen

NESTEVAJE VOI LASKEA SUORITUSKYKYÄ.
JO YHDEN PROSENTIN NESTEVAJEESTA JOHTUVA PAINON PUTOAMINEN VOI LASKEA KESTÄVYYSUORITUSKYKYÄ.

NESTEVAJEEN VAIKUTUKSET VOIMISTUVAT KUUMASSA.
ESIM. YDIN- JA IHON PINTALÄMPÖTILAN NOUSEMINEN, HAPENKULUTUKSEN KASVAMINEN JA SYKKEEN NOUSU.

SÄILYÄ HYVÄ NESTEYTYSTYS!

HULA
Helsingin Urheilulääkäriasema
hula.fi

Seuraa kehonpainoa, virtsan väriä ja määrää sekä janon tunnetta nestetasapainon arvioimiseksi. Yli nesteytys voi pienentää lämmönousua, mutta sen vaikutus suorituskykyyn on epäselvä.

Périard, J., Eijsvogels, T., & Daanen, H. 2021. Exercise Under Heat Stress: Thermoregulation, Hydration, Performance Implications, and Mitigation Strategies.

Hypoksiassa sisäänhengitysilman happiosapaine on laskenut. Tämä pienentää valtimoveren happiosapainetta ja hemoglobiinin happisaturaatiota. Näitä alenemia seuraavat hapen jakelun turvaamiseen tähtäävät fysiologiset reaktiot, jotka alkavat hypoksian havaitsemisesta ja etenevät akuutteihin ja kroonisiin vasteisiin esimerkiksi hengityksessä, sydän- ja verisuonielimistöissä, veren hapenkuljetuskapasiteetissa ja lihastasolla tapahtuvissa reaktioissa. Yksi keskeinen peruste asua ja harjoitella hypoksiassa on yritys stimuloida erytropoietiinin tuotantoa toivoen, että tämä johtaisi hemoglobiini- ja punasolumassan lisääntymiseen, mikä puolestaan parantaisi maksimaalista hapenottoa merenpinnan tason suorituskykyä (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Rusko ym., 2004; Wehrin ym., 2006; Wilber, 2022).

Hypoksiassa asuminen ja harjoittelu voivat tehostaa merenpinnan tason kestävyysuorituskykyä (Levine & Stray-Gundersen, 1997; Wehrin ym., 2006; Wilber, 2022). Fysiologiset reaktiot vaihtelevat kuitenkin suuresti yksilöiden välillä ja myös sisäisesti (Hauser ym., 2017; Nummela ym., 2021), mikä korostaa huolellisen valmistautumisen ja seurannan tarvetta ennen hypoksiaa, sen aikana ja jälkeen. Yksi nykyisistä hypoksiaan liittyvistä tutkimusintresseistä EP2 FINLAND -ohjelmassa on pyrkimys optimoida paluuta merenpinnan tasolle valmistauduttaessa kilpailemaan tai harjoittelemaan intensiivisesti (Peltonen ym., 2023).

Urheilukilpailuiden järjestäminen vuoristossa on yhä suosittuempaa. Kilpaileminen korkealla on haasteellista ja huolellinen sopeutuminen tärkeää, koska suorituskyky laskee välittömästi akuutissa hypoksiassa, mutta nousee vähitellen kohti merenpinnan tasoa, sitä kuitenkin koskaan saavuttamatta. Merenpinnan tasolla asuvat kestävyysurheilijat tai sotilaat tarvitsevat vuoristo-oloissa riittävästi aikaa sopeutuakseen hypoksiaan ja lieven-

tääkseen suorituskyvyn heikkenevästä. Vaikka suurin osa sopeutumisprosessista tapahtuu ensimmäisten kahden viikon aikana jopa 4 500 metrin korkeudessa (Burtscher ym., 2018), on pidempiä ajanjaksoja käytetty menestyksellisesti tärkeisiin kilpailuihin valmistauduttaessa (Wilber, 2004a).

Mitä on hyperoksia?

Hyperoksiassa sisäänhengitysilman happiosapaine on suurempi kuin merenpinnan tasolla. Altistuminen hyperoksialle käynnistää aineenvaihdunnallisia, kardiorespiratorisia, hormonaalisia, hemodynaamisia sekä keskushermostollisia reaktioita, jotka voivat vaikuttaa suorituskykyyn ja terveyteen. Malletten ym. (2018) meta-analyysi osoitti, että akuutti hyperoksinen altistus vaikuttaa positiivisesti kestävyysuorituskykyyn ja dynaamisiin lihassupistuksiin.

Hyperoksian pitkäaikaisvaikutuksia harjoittelun aikana on tutkittu vain vähän, vaikka monet tutkimukset viittaavat sen parantavan suoritus- ja hapenottoa. Tämä saattaa johtua turvallisuusuhusta, sillä tuoreen tutkimuksen mukaan hyperoksia voi lisätä mitokondriaalista oksidatiivista stressiä ja reaktiivisia happiradikaaleja, mikä voi johtaa mitokondriovaurioihin ja patogeneesiin (Brugniaux ym., 2018). On kuitenkin huomioitava, että aikaisemmat tutkimukset sekä Suomessa (Peltonen ym., 2001) että muualla (Wilber ym., 2004b) osoittivat, että lyhytaikainen hyperoksinen ilman hengittäminen ei kasvata oksidatiivista stressiä veren ja virtsan biomarkkereilla tutkittuna.

Hyperoksian pitkäaikaisvaikutuksia harjoittelun aikana on tutkittu vain vähän, vaikka monet tutkimukset viittaavat sen parantavan suoritus- ja hapenottoa. Tämä saattaa johtua turvallisuusuhusta, sillä tuoreen tutkimuksen mukaan hyperoksia voi lisätä mitokondriaalista oksidatiivista stressiä ja reaktiivisia happiradikaaleja, mikä voi johtaa mitokondriovaurioihin ja patogeneesiin (Brugniaux ym., 2018). On kuitenkin huomioitava, että aikaisemmat tutkimukset sekä Suomessa (Peltonen ym., 2001) että muualla (Wilber ym., 2004b) osoittivat, että lyhytaikainen hyperoksinen ilman hengittäminen ei kasvata oksidatiivista stressiä veren ja virtsan biomarkkereilla tutkittuna.

Vaikka hyperoksialla saattaa olla suotuisia vaikutuksia, ei tiedossamme tällä hetkellä ole tutkimusohjelmaa, jossa selvitetäisiin hyperoksinen harjoittelun vaikutuksia fyysisen suorituskykyyn, turvallisuuteen ja terveysriskeihin. Hyperoksiaa mahdollisesti käyttävien tulee olla tietoisia siitä, ettei sen terveysriskeistä vallitse konsensus.

Ylläpidä hypoksian hyödyt!

HYPOKSIDIA-ALTISTUS JA -HARJOITTELU

HEMOGLOBIINIMASSAN JA HAPENOTTOKYVYN NOUSU

PALUU NORMOKSIAAN

JAKSOITTAINEN HYPOKSIA (IHE+IHT) MERENPINNAN TASOLLA

VAIN MERENPINNAN TASOLLA HARJOITTELU

HEMOGLOBIINIMASSA JA HAPENOTTOKYKY LASKEE

Hypoksi tarkoittaa alhaisen happipitoisuuden tilaa. Hypoksiassa (IHE + IHT) on polkettava ja ylläpidettävä keuhkomaailman tilaa ja hengityskäytännön.

Hypoksi tarkoittaa alhaisen happipitoisuuden tilaa. Hypoksiassa (IHE + IHT) on polkettava ja ylläpidettävä keuhkomaailman tilaa ja hengityskäytännön.

Ympäristöaltistuksen toteutus vaatii taitoa

Huippu-urheilussa erot suorituskykyssä kilpailijoiden välillä ovat h_{y,v} in pieniä ja vähäinkin parannus kasvattaa mahdollisuuksia voittaa mitaleita kansainvälisissä arvokisoissa. Monet urheilijat sisällyttävät sen vuoksi harjoittelusuunnitelmaansa yhtä tai useampia ympäristöaltistuksen muotoja edistääkseen suorituskykyään eettisesti, laillisesti ja reilun pelin hengessä.

Samoin sotilaita ja muut ryhmät hyötyvät todennäköisesti h_{y,v} in suunnitellusta ympäristöstressin käytöstä. Vaikka ympäristöaltistus voi olla hyödyllistä ja jopa kriittistä menestyksen kannalta joissain tapauksissa, se voi silti olla haitallista tai jopa vaarallista, mikäli sitä ei sovelleta huolellisesti. Varovainen ja hyvin suunniteltu lähestymistapa on tarpeen valmisteltaessa ja toteutettaessa ympäristöaltistusta. Tätä osaamista EP2 FINLAND pyrkii edistämään tuottamalla monipuolisesti korkeatasoista tietoa ympäristöolosuhteista ja soveltamalla sitä saumattomasti käytäntöön.

LÄHTEET

Angrimsson, S., Pettitt D. S., Borrani, F., Skinner, K. A., & Cureton, K. J. 2004. Hyperthermia and maximal oxygen uptake in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4-5). <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1053-1>

Bongers, C. C. W. G., Hopman, M. T. E., & Eijsvogels, T. M. H. 2017. Cooling interventions for athletes: An overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations. *Temperature*, 4(1), 60-78. <https://doi.org/10.1080/23328940.2016.1277003>

Bongers, C. C. W. G., Thijssen, D. H. J., Veltmeijer, M. T. W., Hopman, M. T. E., & Eijsvogels, T. M. H. 2015. Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*, 49(6), 377-384. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092928>

Brugniaux, J. V., Coombs, G. B., Barak, O. F., Dujic, Z., Sekhon, M. S., & Ainslie, P. N. 2018. Highs and lows of hyperoxia: Physiological, performance, and clinical aspects. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 315(1), R1-R27. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00165.2017>

Burtscher, M., Niedermeier, M., Burtscher, J., Pesta, D., Suchy, J., & Strasser, B. 2018. Preparation for Endurance Competitions at Altitude: Physiological, Psychological, Dietary and Coaching Aspects. A Narrative Review. *Frontiers in Physiology*, 9, 1504. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01504>

de Korte, J. Q., Bongers, C. C., Hopman, M. T., & Eijsvogels, T. M. 2021. Exercise performance and thermoregulatory responses of elite athletes exercising in the heat: outcomes of the thermo Tokyo study. *Sports Medicine*, 51, 2423-2436.

Fuchs CJ, Kouw IWK, Churchward-Venne TA, Smeets JSJ, Senden JM, Lichtenbelt WD van M, et al. 2020. Postexercise cooling impairs muscle protein synthesis rates in recreational athletes. *J Physiol*. 2020 Feb;598(4):755-72.

Girard, O., Levine, B. D., Chapman, R. F., & Wilber, R. 2023. "Living High-Training Low" for Olympic Medal Performance: What Have We Learned 25 Years After Implementation? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 18(6), 563-572. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0501>

Gleser, M. A., & Vogel, J. A. 1973. Endurance capacity for prolonged exercise on the bicycle ergometer. *Journal of Applied Physiology*, 34(4), 438-442. <https://doi.org/10.1152/jappl.1973.34.4.438>

Hauser, A., Troesch, S., Saugy, J. J., Schmitt, L., Cejuela-Anta, R., Faiss, R., Steiner, T., Robinson, N., Millet, G. P., & Wehrli, J. P. 2017. Individual hemoglobin mass response to normobaric and hypobaric "live high-train low": A one-year crossover study. *Journal of Applied Physiology*, 123(2), 387-393. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00932.2016>

Ihsan M, Markworth J.F., Watson G, Choo H.C., Govus A., Pham T., et al. Regular postexercise cooling enhances mitochondrial biogenesis through AMPK and p38 MAPK in human skeletal muscle. *Am J Physiol-Regul Integr Comp Physiol*. 2015 Aug 1;309(3):R286-94.

Ihsan M., Watson G., Choo H.C., Govus A., Cocking S., Stanley J., et al. Skeletal Muscle Microvascular Adaptations Following Regular Cold Water Immersion. *Int J Sports Med*. 2020 Feb;41(02):98-105.

Kwiecien, S. Y., McHugh, M. P., & Howatson, G. 2020. Don't Lose Your Cool With Cryotherapy: The Application of Phase Change Material for Prolonged Cooling in Athletic Recovery and Beyond. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2, 118. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00118>

Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. 1997. "Living high-training low": Effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), Article 1 <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.1.102>

Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. 2001. The effects of altitude training are mediated primarily by acclimatization, rather than by hypoxic exercise. In R. C. Roach, P. D. Wagner, & P. H. Hackett (Eds.), *Hypoxia* (Vol. 502, pp. 75-88). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3401-0_7

Mallette, M. M., Stewart, D. G., & Cheung, S. S. 2018. The Effects of Hyperoxia on Sea-Level Exercise Performance, Training, and Recovery: A Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 48(1), 153-175. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0791-2>

Nummela, A., Eronen, T., Koponen, A., Tikkanen, H., & Peltonen, J. E. 2021. Variability in hemoglobin mass response to altitude training camps. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(1), 44-51. <https://doi.org/10.1111/sms.13804>

Peltonen, J. E., Tikkanen, H. O., Ritola, J. J., Ahotupa, M., & Rusko, H. K. 2001. Oxygen uptake response during maximal cycling in hyperoxia, normoxia and hypoxia. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 72(10), 904-911.

Peltonen, J. E., Leppävuori A., Lehtonen E., Mikkonen R. S., Kettunen O., Nummela A., Ohtonen O., Gagnon D. D., Wehrli J. P., Wilber R.L. & Linnamo V. 2023. Intermittent hypoxic exposure and training have potential to maintain elevated hemoglobin mass after hypoxic camps. *Med Sci Sports*. 2023 Exerc 55(9S): 291.

Periard, J. D., Eijsvogels, T. M. H., & Daanen, H. A. M. 2021. Exercise under heat stress: Thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies. *Physiological Reviews*, 101(4), 1873-1979. <https://doi.org/10.1152/physrev.00038.2020>

Rusko, H., Tikkanen, H., & Peltonen, J. 2004. Altitude and endurance training. *Journal of Sports Sciences*, 22(10), 928-945. <https://doi.org/10.1080/02640410400005933>

Wehrli, J. P., Zuest, P., Hallen, J., & Marti, B. 2006. Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *Journal of Applied Physiology*, 100(6), 1938-1945. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01284.2005>

Wilber, R. L. 2022. Practical Application of Altitude/Hypoxic Training for Olympic Medal Performance: The Team USA Experience. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 4(4), 358-370. <https://doi.org/10.1007/s42978-022-00168-y>

Wilber, R.L. 2004a. Altitude training and athletic performance. Champaign, IL, Human Kinetics.

Wilber, R. L., Holm, P. L., Morris, D. M., D'Alam, G. M., Subudhi, A. W., Murray, D. M., & Callan, S. D. 2004b. Effect of FIO₂ on Oxidative Stress during Interval Training at Moderate Altitude. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(11), 1888-1894. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000145442.25016.DD>