# GIPOKSIYAGA MOSLASHISH MEXANIZMLARI VA SPORT FIZIOLOGIYASI

**Ne'matova Nilufar Ulug'bek qizi**
Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti tibbiy pedagogika va davolash ishi fakultet talabasi
**Ilmiy rahbar:** Dotsent **Kamolova Zilola Mirsobitovna**
Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti o'qituvchisi

**Annotatsiya:** Gipoksiya organizm to'qimalariga yetib boradigan kislorod miqdorining kamayishi bilan tavsiflanadigan fiziologik holat bo'lib, ayniqsa baland tog' sharoitida va gipoksik mashg'ulotlar vaqtida organizmning bir qator moslashuv mexanizmlarini faollashtiradi. Sport fiziologiyasida gipoksiyaga moslashish nafas olish, yurak-qon tomir, gematologik, metabolik va mushak tizimlaridagi o'zgarishlarning majmuasi sifatida qaraladi. Gipoksiyaning asosiy molekulyar mexanizmlaridan biri gipoksiya-induktsiyalanuvchi faktorlar (HIF) faollashuvi bo'lib, ular eritropoetin (EPO) ishlab chiqarilishi, angiogenez, glyukoza metabolizmi va hujayraning kisloroddan foydalanish jarayonlarini boshqaradi. Uzoqroq muddatli gipoksik ta'sir natijasida eritrotsitlar va gemoglobin massasining ortishi, kapillyarizatsiyaning kuchayishi, mushaklarning metabolik moslashuvi va ventilatsion javobning o'zgarishi kuzatiladi. Ushbu maqolada gipoksiyaga moslashishning asosiy fiziologik va molekulyar mexanizmlari hamda ularning sportchilarning jismoniy ish qobiliyatiga ta'siri tahlil qilindi. [1–5]

**Kalit so'zlar:** gipoksiya, moslashish, sport fiziologiyasi, HIF-1α, eritropoetin, eritropoez, gemoglobin, $VO_2max$, balandlik mashg'ulotlari, angiogenez.

## KIRISH

Gipoksiya organizm uchun kislorod mavjudligining kamayishi bilan bog'liq bo'lib, uning darajasi va davomiyligiga qarab turli fiziologik javoblarni yuzaga keltiradi. Balandlikka ko'tarilganda atmosfera bosimi pasayadi va natijada havoning kislorod parsial bosimi kamayadi. Bu holat arterial qondagi kislorod bosimining pasayishiga olib kelib, periferik xemoretseptorlar orqali nafas olish markazlarini rag'batlantiradi. Shu bilan birga simpatik nerv tizimi faollashadi, yurak urish tezligi va minutlik ventilyatsiya ortadi. [1,6,7]

Sport fiziologiyasida gipoksiyaga moslashish alohida ahamiyatga ega, chunki sportchilarning mashg'ulot va musobaqa vaqtida yuqori darajadagi kislorod yetkazib berish tizimiga ehtiyoji mavjud. Ayniqsa uzoq masofaga yugurish, velosport, chang'i va boshqa chidamlilikka asoslangan sport turlarida kislorod tashish va undan mushaklarda foydalanish qobiliyati jismoniy ish qobiliyatining muhim determinantlaridan hisoblanadi. Shu sababli balandlikda yashash yoki gipoksik muhitda mashq qilish sportchilarda fiziologik moslashuvlarni shakllantirish strategiyasi sifatida qo'llanib kelmoqda. [2,3,8]

Gipoksiyaga moslashish murakkab va ko'p bosqichli jarayon bo'lib, uning dastlabki bosqichida nafas olish va yurak-qon tomir tizimlari faoliyati o'zgaradi, keyinchalik esa gematologik va to'qima darajasidagi moslashuvlar shakllanadi. Bunda HIF oilasiga mansub transkripsion faktorlar markaziy rol o'ynaydi. HIF tizimi kislorod miqdorining kamayishini hujayra darajasida sezib, organizmning kislorod yetishmovchiligiga moslashishini ta'minlovchi ko'plab genlarning ekspressiyasini boshqaradi. [4,9,10]

## MAQSAD

Gipoksiyaga moslashishning molekulyar, respirator, yurak-qon tomir, gematologik va metabolik mexanizmlarini o'rganish hamda ushbu o'zgarishlarning sportchilarning jismoniy ish qobiliyati va sport fiziologiyasidagi ahamiyatini tahlil qilish.

## MATERIAL VA USULLAR



© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Mazkur maqola ilmiy adabiyotlarning tahliliy sharhi asosida tayyorlandi. PubMed, PMC, Frontiers in Physiology, Journal of Applied Physiology, British Journal of Sports Medicine va boshqa ilmiy manbalarda chop etilgan maqolalar o'rganildi. Gipoksiyaga fiziologik moslashish, balandlik mashg'ulotlari, eritropoetin, HIF signalizatsiyasi, gemoglobin massasi, maksimal kislorod iste'moli va mushaklarning gipoksiyaga javobi bo'yicha ma'lumotlar umumlashtirildi. [1–6,11]

**NATIJALAR**

**Gipoksiyaga dastlabki respirator moslashish**

Gipoksiyaga ta'sirning dastlabki bosqichida arterial qondagi kislorod parsial bosimining pasayishi karotid va aortal xemoretseptorlarni faollashtiradi. Natijada nafas olish markazlarining qo'zg'alishi kuchayib, nafas olish tezligi va chuqurligi ortadi. Ushbu gipoksik ventilatsion javob alveolalarga ko'proq havo kirishini ta'minlab, organizmga kislorod yetkazib berishni qisman yaxshilaydi. Biroq yuqori balandlikda ushbu mexanizmning o'zi kislorod yetishmovchiligini to'liq bartaraf eta olmaydi. [6,7]

Sport mashg'ulotlari vaqtida gipoksiya mavjud bo'lsa, bir xil tashqi yuklama uchun nafas olish va yurak urish tezligi odatda yuqoriroq bo'ladi. Shu sababli sportchi balandlikda xuddi shu mashqni dengiz sathidagiga qaraganda yuqoriroq fiziologik zo'riqish bilan bajaradi. Maksimal kislorod iste'moli ($VO_2max$) esa balandlik ortishi bilan pasayadi, chunki arterial qonda kislorodning mavjudligi kamayadi. [1,7]

**HIF–EPO tizimi va gematologik moslashish**

Gipoksiyaga uzoqroq muddatli moslashishning eng muhim mexanizmlaridan biri HIF tizimining faollashuvidir. Normoksik sharoitda HIF-α subbirligi gidroksillanib, parchalanishga yo'naltiriladi. Gipoksiya sharoitida esa ushbu jarayon susayadi va HIF-α hujayrada to'planib, yadroga o'tadi hamda ma'lum genlarning transkripsiyasini kuchaytiradi. Natijada kislorod yetishmovchiligiga moslashishda ishtirok etuvchi genlar, jumladan EPO bilan bog'liq genlar faollashadi. [4,9,10]

Buyraklarda EPO ishlab chiqarilishining ortishi suyak ko'migida eritropoezni kuchaytiradi. Natijada retikulotsitlar va eritrotsitlar ishlab chiqarilishi oshib, vaqt o'tishi bilan qondagi gemoglobin massasi va kislorod tashish qobiliyati ortishi mumkin. Bu jarayon sportchilar uchun, ayniqsa chidamlilikka asoslangan sport turlarida, muhim fiziologik moslashuv hisoblanadi. Biroq eritropoetik javob gipoksiyaning darajasi, davomiyligi, temir zaxiralari va individual fiziologik xususiyatlarga bog'liq. [3,5,11]

**Jadval 1. Gipoksiyaga moslashishning asosiy mexanizmlari**

| **Moslashish mexanizmi** | **Asosiy o'zgarish** | **Sport fiziologiyasidagi ahamiyati** |
|---|---|---|
| Ventilyatsion moslashish | Nafas olish hajmi va chastotasining ortishi | $O_2$ qabul qilinishini yaxshilaydi |
| Yurak-qon tomir moslashuvi | Yurak urish tezligi va simpatik faollikning oshishi | To'qimalarga qon oqimini qo'llab-quvvatlaydi |
| EPO faollashuvi | Eritropoezning kuchayishi | $O_2$ tashish qobiliyatini oshiradi |
| Gemoglobin massasi | Eritrotsit va Hb massasining ortishi | Aerob ish qobiliyatiga yordam beradi |
| Angiogenez | Kapillyarlar zichligining ortishi | Mushaklarga $O_2$ yetkazilishini yaxshilaydi |
| Metabolik | Glykoliz va metabolik | Energiya ishlab chiqarishni qo'llab- |



© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

| | | |
|---|---|---|
| moslashuv | yo'llarning o'zgarishi | quvvatlaydi |
| Mushak moslashuvi | Mitoxondrial va oksidlovchi funksiyalarning o'zgarishi | Chidamlilikni qo'llab-quvvatlaydi |
| Bufer tizimlari | Kislota-ishqor muvozanatining moslashuvi | Yuqori intensivlikdagi yuklamaga chidamlilikni oshiradi |

Ushbu mexanizmlarning shakllanishi bir xil tezlikda kechmaydi. EPO javobi gipoksiyaga ta'sirning dastlabki kunlarida boshlanishi mumkin, eritrotsitlar ishlab chiqarishining oshishi esa keyingi kunlarda namoyon bo'ladi. Shu sababli balandlik mashg'ulotlarida gipoksik ta'sirning davomiyligi va "gipoksik doza"si muhim hisoblanadi. [3,5,11]

**Yurak-qon tomir tizimining moslashuvi**

Gipoksiyaning dastlabki bosqichida simpatik nerv tizimining faollashuvi yurak urish tezligining oshishiga olib keladi. Bu yurakning minutlik hajmini saqlash va to'qimalarga kislorod yetkazib berishni qo'llab-quvvatlashga qaratilgan kompensator mexanizmdir. Shu bilan birga periferik qon tomirlar tonusi va o'pka qon aylanishida ham o'zgarishlar yuz beradi. [1,6,7]

Muntazam gipoksik ta'sirga moslashish davomida yurak-qon tomir javoblarining ayrim komponentlari qayta tashkil topadi. To'qimalarning kisloroddan foydalanish samaradorligi, qon oqimining taqsimlanishi va periferik tomirlarning funksional javobi o'zgarishi mumkin. Bunday moslashuvlar sportchiga gipoksik muhitda jismoniy yuklamani yaxshiroq bajarishga yordam beradi. [2,7,12]

**Mushak va metabolik moslashish**

Gipoksik muhitda skelet mushaklarida ham bir qator moslashuvlar rivojlanadi. HIF orqali boshqariladigan signal yo'llari glyukoza transporti, glikoliz, angiogenez va hujayraning kisloroddan foydalanish jarayonlariga ta'sir qiladi. Ayrim tadqiqotlarda gipoksik mashg'ulotdan keyin mushak kapillyarizatsiyasi, oksidlovchi qobiliyat va metabolik moslashuv bilan bog'liq o'zgarishlar qayd etilgan. [4,12,13]

Gipoksik moslashishning gematologik bo'lmagan mexanizmlari ham sport fiziologiyasida muhim hisoblanadi. Jumladan, mushaklarning buferlash qobiliyati, mitoxondrial samaradorlik, glyukozadan foydalanish, angiogenez va metabolik yo'llarning qayta tashkil topishi jismoniy chidamlilikka ta'sir qilishi mumkin. Shu sababli gipoksik mashg'ulotning ta'sirini faqat eritrotsitlar sonining ortishi bilan izohlash yetarli emas. [12,13]

**Gipoksik mashg'ulot va sport natijalari**

Sport amaliyotida "live high–train low", "live high–train high" va "live low–train high" kabi gipoksik mashg'ulot strategiyalari qo'llanadi. Ularning maqsadi gipoksiyaning fiziologik signalidan foydalanish bilan birga mashg'ulot sifatini saqlab qolishdir. Ayniqsa "live high–train low" strategiyasida sportchi gipoksik sharoitda yashab, asosiy yuqori intensiv mashg'ulotlarni pastroq balandlikda bajaradi. [2,3,14]

Biroq gipoksik mashg'ulotlarning dengiz sathidagi sport natijalarini oshirish samarasi barcha sportchilar va barcha sport turlari uchun bir xil emas. Ilmiy adabiyotlarda gematologik moslashuvlar aniq kuzatilishi mumkin bo'lsa-da, dengiz sathidagi maksimal sport natijasiga ta'sir bo'yicha tadqiqot natijalari bir xil emas. Shu sababli gipoksik mashg'ulotning optimal balandligi, davomiyligi va individual "dozasi" masalasi hanuz tadqiq qilinmoqda. [2,3,14]

**Gipoksik moslashishda temir almashinuvining ahamiyati**



© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Eritropoez kuchayishi sababli gipoksiyaga moslashish davrida organizmning temirga bo'lgan ehtiyoji ortadi. Temir gemoglobin, mioglobin va sitoxromlar tarkibida kislorod tashish hamda hujayraviy nafas olish uchun zarur bo'lgan elementdir. Gipoksiya sharoitida EPO va eritroferron orqali temir almashinuvining qayta tashkil etilishi eritropoez uchun zarur bo'lgan temirning mavjudligini ta'minlashga xizmat qiladi. [5,15]

Shu sababli balandlik mashg'ulotlariga tayyorgarlik ko'rayotgan sportchilarda temir statusini nazorat qilish muhim. Temir zaxiralarining yetarli bo'lmasligi gipoksiyaga eritropoetik javobni cheklashi mumkin. Xalqaro sport tibbiyoti tavsiyalarida balandlikka chiqishdan oldin sportchilarning temir holatini baholashga alohida e'tibor beriladi. [2,15]

**MUHOKAMA**

Gipoksiyaga moslashish organizmning turli darajalarida — molekulyar, hujayraviy, to'qima va tizim darajasida amalga oshadigan kompleks fiziologik jarayondir. HIF tizimi gipoksik signalni qabul qiluvchi muhim molekulyar mexanizm bo'lsa, EPO orqali eritropoezning kuchayishi kislorod tashish imkoniyatini oshiradi. Shu bilan birga, respirator va yurak-qon tomir tizimlarining funksional o'zgarishlari ham kislorod yetkazib berishni kompensatsiya qilishda ishtirok etadi. [1,4,9]

Sportchilarda gipoksiyaga moslashishning samarasi individual xususiyatlarga bog'liq. Bir xil gipoksik ta'sir turli sportchilarda EPO javobi, gemoglobin massasi, ventilatsion javob va sport natijalariga turlicha ta'sir ko'rsatishi mumkin. Bunga genetik xususiyatlar, mashg'ulot darajasi, temir statusi, gipoksik ta'sirning davomiyligi va intensivligi kabi omillar ta'sir qiladi. [3,11,14]

Umuman olganda, gipoksik mashg'ulotlarning balandlikdagi musobaqaga moslashishda foydasi ancha yaxshi asoslangan bo'lsa-da, dengiz sathidagi sport natijalarini yaxshilashdagi samarasi barcha holatlarda bir xil darajada tasdiqlanmagan. Shu sababli gipoksik treningni sportchining individual fiziologik xususiyatlari, sport turi va musobaqa sharoitlariga moslashtirish maqsadga muvofiqdir. [2,3,14]

**XULOSA**

Gipoksiyaga moslashish organizmning kislorod yetishmovchiligiga javoban shakllanadigan murakkab fiziologik jarayon bo'lib, uning asosida HIF signalizatsiyasi, EPO ishlab chiqarilishi, eritropoezning kuchayishi, ventilatsion javob, yurak-qon tomir moslashuvi, angiogenez va mushak metabolizmining qayta tashkil topishi yotadi. Ushbu mexanizmlar sportchilarda kislorod tashish va undan foydalanish imkoniyatlarini yaxshilashi mumkin. [1–5,12]

Sport fiziologiyasida gipoksik mashg'ulotlar, ayniqsa chidamlilik sport turlarida, organizmning yuqori balandlikka moslashishini ta'minlash va ayrim hollarda mashg'ulot adaptatsiyasini kuchaytirish uchun qo'llanadi. Biroq uning samarasi individual bo'lib, gipoksik ta'sirning davomiyligi, balandligi, mashg'ulot turi, temir statusi va sportchining boshlang'ich tayyorgarlik darajasiga bog'liq. Shuning uchun gipoksik mashg'ulotlardan foydalanishda individual fiziologik monitoring va ilmiy asoslangan yondashuv muhim hisoblanadi. [2,3,11,14]

**FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR**

1. Forbes S.C., et al. Exercise in acute and subacute hypoxic conditions: physiological responses affecting oxygen delivery and their applications to human health. The Journal of Physiology. 2026.
2. Bergeron M.F., et al. International Olympic Committee consensus statement on thermoregulatory and altitude challenges for high-level athletes. British Journal of Sports Medicine. 2012.
3. Płoszczyca K., Langfort J., Czuba M. The Effects of Altitude Training on Erythropoietic Response and Hematological Variables in Adult Athletes: A Narrative Review. Frontiers in Physiology. 2018;9:375.



© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

4. Semenza G.L. Hypoxia-inducible factors in physiology and medicine. Cell. 2012.
5. Gassmann M., Muckenthaler M.U. Adaptation of iron requirement to hypoxic conditions at high altitude. Journal of Applied Physiology. 2015;119(12).
6. West J.B. Highs and lows in the history of high-altitude physiology. High Altitude Medicine & Biology. 2013.
7. Wagner P.D. Oxygen transport and the physiological basis of altitude adaptation. Annual Review of Physiology. 2010.
8. Wilber R.L. Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2007.
9. Jelkmann W. Erythropoietin. Journal of Endocrinological Investigation. 2003;26(9):832–837.
10. Semenza G.L. HIF-1: upstream and downstream of cancer metabolism. Current Opinion in Genetics & Development. 2010.
11. Płoszczyca K., Langfort J., Czuba M. The role of erythropoietin and iron metabolism in altitude training adaptation. Frontiers in Physiology. 2018.
12. Gore C.J., Clark S.A., Saunders P.U. Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2007;39(9):1600–1609.
13. Millet G.P., Roels B., Schmitt L., Woorons X., Richalet J.P. Combining hypoxic methods for peak performance. Sports Medicine. 2010.
14. Garvican-Lewis L.A., Sharpe K., Gore C.J. Time for a new metric for hypoxic dose? Journal of Applied Physiology. 2016.
15. Gassmann M., Muckenthaler M.U. Iron homeostasis and erythropoietic adaptation to hypoxia. Journal of Applied Physiology. 2015.
16. Levine B.D., Stray-Gundersen J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. Journal of Applied Physiology. 1997.
17. Stray-Gundersen J., Chapman R.F., Levine B.D. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. Journal of Applied Physiology. 2001.
18. McLean B.D., Gore C.J., Kemp J. Application of "live low-train high" in elite athletes. Sports Medicine. 2014.
19. Millet G.P., Brocherie F. Hypoxic training is beneficial in elite athletes. Sports Medicine. 2020.
20. Gore C.J., Hopkins W.G. Does hyperbaric oxygen exposure affect sea-level exercise performance? Sports Medicine. 2005.
21. Chapman R.F., Stray-Gundersen J., Levine B.D. Individual variation in response to altitude training. Journal of Applied Physiology. 1998.
22. Lundby C., Calbet J.A.L., Robach P. The response of human skeletal muscle tissue to hypoxia. Cellular and Molecular Life Sciences. 2009.
23. Siebenmann C., Robach P., Lundby C. Regulation of blood volume in lowlanders exposed to high altitude. Journal of Applied Physiology. 2017.
24. Haase V.H. Hypoxic regulation of erythropoiesis and iron metabolism. American Journal of Physiology-Renal Physiology. 2013.
25. West J.B. High-altitude medicine. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. 2012.



© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

26. Roels B., Bentley D.J., Coste O., Mercier J., Millet G.P. Effects of hypoxic interval training on cycling performance. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2005.
27. Girard O., Amann M., Aughey R., et al. Position statement—altitude training for improving team-sport players' performance: current knowledge and unresolved issues. British Journal of Sports Medicine. 2013.
28. Bonetti D.L., Hopkins W.G. Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: a meta-analysis. Sports Medicine. 2009.
29. Chapman R.F., Karlsen T., Resaland G.K., et al. Defining the "dose" of altitude training: how much hypoxia is enough? Sports Medicine. 2014.
30. Millet G.P., Brocherie F. Hypoxic training and endurance performance: current evidence and practical applications. Sports Medicine. 2020.



© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.