

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА



МАСТЕР АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ

ХОРМОНСКЕ АДАПТАЦИЈЕ НА РАЗЛИЧИТЕ ОБЛИКЕ
КОНДИЦИОНОГ ТРЕНИНГА

Мастер рад

Студент:

Никола Станковић

Број индекса: 4033/2023

Ментор:

др Марија Мацура, редовни професор

Београд, 2025.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА



МАСТЕР АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ

**ХОРМОНСКЕ АДАПТАЦИЈЕ НА РАЗЛИЧИТЕ ОБЛИКЕ
КОНДИЦИОНОГ ТРЕНИНГА**

Мастер рад

Студент:

Никола Станковић

Број индекса: 4033/2023

Комисија за оцену и одбрану мастер рада:

1. др Марија Мацура, редовни професор

2. др Ненад Јанковић, редовни професор

3. др Сања Мирковић, асистент с докторатом

Београд, 2025.

САЖЕТАК

Тема овог мастер рада јесте анализа хормонских адаптација на различите облике кондиционог рада, са посебним нагласком на анаболичке и катаболичке процесе који прате различите типове физичког оптерећења. Циљ рада је да се, кроз преглед релевантне литературе и теоријских поставки, објасни механизам хормонског одговора на тренинг снаге, издржљивости, брзине. У изради овог мастер рада су коришћени савремени научни извори из области физиологије, спортске медицине и кондиционе припреме. Анализиране су промене у статусу кључних хормона, попут тестостерона, кортизола, хормона раста и инсулина, и њихове улоге у процесима адаптације организма на тренингом изазвани физички стрес. Посебна пажња посвећена је поређењу различитих облика тренинга и њиховом утицају на анаболичко-катаболичку равнотежу. Закључено је да хормонске адаптације представљају основу за разумевање ефеката кондиционог тренинга, а правилно планирање и периодизација тренинга, као и адекватна исхрана, имају пресудан значај за оптимизацију хормонског статуса и постизање тренажних циљева.

Кључне речи: хормонске адаптације, тренинг снаге, тренинг издржљивости, тестостерон, хормон раста, инсулин, кортизол, анаболизам, катаболизам.

ABSTRACT

The topic of this master's thesis is the analysis of hormonal adaptations to different forms of conditioning training, with special emphasis on the anabolic and catabolic processes that accompany various types of physical load. The aim of the paper is to explain, through a review of relevant literature and theoretical concepts, the mechanisms of hormonal response to strength, endurance, and speed training. In the development of this master's thesis, contemporary scientific sources from the fields of physiology, sports medicine, and strength and conditioning were utilized. Changes in the status of key hormones such as testosterone, cortisol, growth hormone, and insulin and their roles in the body's adaptation processes to training-induced physical stress were analyzed. Special attention was given to comparing different types of training and their impact on the anabolic-catabolic balance. It was concluded that hormonal adaptations form the basis for understanding the effects of conditioning training, and that proper planning and periodization of training, along with adequate nutrition, are of crucial importance for optimizing hormonal status and achieving training goals.

Keywords: hormonal adaptations, strength training, endurance training, testosterone, growth hormone, insulin, cortisol, anabolism, catabolism.

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. ОСНОВЕ ЕНДОКРИНОГ СИСТЕМА И ФИЗИОЛОГИЈЕ ХОРМОНА	2
2.1. Улога ендокриног система у хомеостазу и адаптацији.....	3
2.1.1. Одржавање хомеостазе кроз хормоне	3
2.1.2. Хормонска адаптација на физички стрес	3
2.2. Класификација хормона и механизми њиховог деловања.....	5
2.2.1. Класификација хормона.....	5
2.2.2. Механизми деловања хормона у адаптацији на тренинг	6
2.3. Хормонски одговор на физички стрес	8
2.3.1. Акутни хормонски одговор	8
2.3.2. Хронична адаптација.....	8
2.3.3. Хормонски одговор на различите врсте тренинга.....	9
2.3.4. Физиолошки ефекти	10
3. КЉУЧНИ ХОРМОНИ У АДАПТАЦИЈИ НА КОНДИЦИОНИ ТРЕНИНГ	12
3.1. Анаболички хормони.....	12
3.1.1. Тестостерон	12
3.1.2. Хормон раста.....	14
3.1.3. ИГФ-1 (Insulin-like Growth factor).....	15
3.1.4. Инсулин	16
3.2. Катаболички хормони.....	17
3.2.1. Кортизол	18
3.2.2. Адреналин	19
3.2.3. Норадреналин.....	20
3.3. Хормонска равнотежа и значај за спортске перформансе	21
4. ХОРМОНСКЕ АДАПТАЦИЈЕ НА РАЗЛИЧИТЕ ОБЛИКЕ КОНДИЦИОНОГ ТРЕНИНГА	23
4.1. Тренинг снаге и хипертофије.....	23
4.2. Тренинг издржљивости	24
4.3. Тренинг брзине.....	26
4.4. Тренинг експлозивности (плиометрија и олимпијска дизања)	27
4.4.1. Хормонски одговори	27
4.4.2. Краткорочне и дугорочне адаптације	28
4.4.3. Практични примери примене.....	28
4.5. Комбиновани облици кондиционог рада.....	29
4.5.1. Хормонски одговори	29
4.5.2. Краткорочне и дугорочне адаптације	30
4.5.3. Практични примери.....	30
4.6. Савремени модели кондиционог тренинга.....	30
4.6.1. Хормонске основе и физиолошки механизми	31
4.6.2. Краткорочне адаптације.....	31
4.6.3. Дугорочне адаптације.....	32
4.6.4. Практична примена	33
5. ФАКТОРИ КОЈИ УТИЧУ НА ХОРМОНСКЕ АДАПТАЦИЈЕ	35
5.1. Пол и узраст.....	35
5.2. Исхрана и суплементација	36
5.3. Сан и опоравак	38
5.4. Индивидуалне разлике и генетски фактори	40
6. ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА ЗА КОНДИЦИОНИ ТРЕНИНГ	42

6.1. Планирање и програмирање тренинга у складу са хормонским одговорима	42
6.2. Превенција претренираности и хормонског дисбаланса	43
6.3. Побољшање спортских перформанси	44
7. ДИСКУСИЈА	46
8. ЗАКЉУЧАК	48
9. ЛИТЕРАТУРА	49

1. УВОД

Хормонске адаптације представљају један од кључних механизма којима се организам прилагођава различитим облицима физичког оптерећења. Код спортиста и рекреативаца, разумевање начина на који ендокрини систем реагује на тренинг снаге, издржљивости, брзине, експлозивности или на комбиноване програме од суштинске је важности за правилно планирање и програмирање кондиционог рада. Предмет овог рада јесте проучавање хормонских одговора на различите облике кондиционог тренинга и њиховог значаја за адаптацију организма. Циљ рада је да се кроз теоријски оквир и анализу доступне литературе пружи дубље разумевање хормонских механизма и њихових импликација за спортску праксу.

Истраживање хормонских адаптација има вишеструки значај. Са становишта спортске праксе, познавање улоге хормона у адаптацији омогућава тренерима и спортистима да оптимизују перформансе кроз прилагођене програме тренинга. На тај начин могуће је максимално искористити анаболичке ефекте, минимизирати негативне последице катаболичких хормона, као и одржати оптималну хормонску равнотежу. Разумевање ових процеса доприноси превенцији претренираности и смањењу ризика од хормонског дисбаланса, што је од посебног значаја како за врхунске спортисте, тако и за рекреативце који теже очувању здравља и унапређењу физичких способности.

Рад је конципиран као теоријско истраживање засновано на анализи и синтези релевантне научне и стручне литературе из области физиологије, ендокринологије и спортских наука. Методолошки оквир обухвата преглед постојећих истраживања о хормонским одговорима на различите облике кондиционог рада, уз поређење резултата и идентификовање кључних фактора који обликују адаптацију ендокриног система. Овај приступ омогућава систематизацију знања и пружа основу за практичне импликације у области кондиционог тренинга.

2. ОСНОВЕ ЕНДОКРИНОГ СИСТЕМА И ФИЗИОЛОГИЈЕ ХОРМОНА

Ендокрини систем представља кључни регулатор физиолошких процеса у људском организму. Његова основна функција је одржавање хомеостазе, односно стабилног унутрашњег окружења, упркос променама у спољашњој средини. Хормони као хемијски гласници, луце се у крвоток и делују на циљане ћелије, органе и системе, модулирајући метаболизам, раст, репродукцију и адаптацију на стрес (Ganong, 2021; Hall, 2021).

За разлику од нервног система, који делује брзо и локално, ендокрини систем делује спорије, али његови ефекти су дуготрајни и систематски. Хормони могу деловати кроз интрацелуларне рецепторе, мењајући експресију гена (нпр. стероидни хормони), или кроз мембранске рецепторе, активирајући секундарне гласнике (нпр. пептидни хормони) (Tortora & Derrickson, 2017; LibreTexts, 2023).

Ендокрини систем се састоји од низа жлезда:

- Хипоталамус и хипофиза координирају активност других жлезда.
- Штитна и паратироидне жлезде регулишу метаболизам и минералну равнотежу.
- Надбубрежне жлезде одговорне су за стресне одговоре.
- Панкреас контролише метаболизам глукозе.
- Понаде регулишу репродуктивне функције (Sherwood, 2016; OpenStax, 2023).

Лучење хормона регулисано је кроз повратне спреге -негативну и позитивну - које омогућавају прецизну контролу физиолошких процеса.

Разумевање основних принципа ендокринологије и физиологије хормона представља темељ за даље проучавање хормонских адаптација на физички стрес и кондициони тренинг. Хормони не само да одржавају хомеостазу у мировању, већ и координирају одговоре организма на различите облике физичког оптерећења, што чини њихово проучавање кључним за спортску физиологију и адаптације организма на тренинг (Hall, 2021; Ganong, 2021).

2.1. Улога ендокриног система у хомеостази и адаптацији

Ендокрини систем је кључни регулатор унутрашњих функција организма, омогућавајући прецизну координацију метаболичких процеса и адаптацију на промене спољашњег и унутрашњег окружења. Његова активност је од суштинског значаја за одржавање хомеостазе, односно стабилног унутрашњег окружења неопходног за нормално функционисање ћелија, ткива и органа (Ganong, 2021; Hall, 2021).

2.1.1. Одржавање хомеостазе кроз хормоне

Хормони омогућавају континуирану прилагодбу организма кроз регулацију различитих параметара:

- Енергетски метаболизам: инсулин и глукагон одржавају оптималан ниво глукозе у крви и баланс између складиштења и ослобађања енергије.
- Равнотежа течности и електролита: Алдостерон и вазопресин (АДХ) обезбеђују стабилан осмотски притисак и контролу крвног волумена.
- Кардиоваскуларна функција: Хормони ренин-ангиотензин-алдостерон система утичу на васкуларни тонус и крвни притисак.
- Одговор на стрес: Кортизол и катехоламини подижу ниво енергије и припремају организам на краткорочне изазове.

Ови хормонски одговори омогућавају организму да реагује на промене, одржавајући оптималне услове за функционисање чак и када је спољашње окружење променљиво.

2.1.2. Хормонска адаптација на физички стрес

Физичка активност, посебно спортске активности, представљају значајан стрес за организам, а ендокрини систем омогућава прилагођавање и побољшање перформанси:

- ХПА осовина (хипоталамус-хипофиза-надбубрежна жлезда) активира се при интензивном тренингу, доводећи до лучења кортизола, адреналина и норадреналина.
- Ослобађање енергије: Кортизол повећава доступност глукозе и масних киселина, док адреналин убрзава срчани ритам и побољшава доток крви у активне мишиће.

- Дугорочне адаптације: Редован кондициони тренинг мења базални ниво хормона и осетљивост рецептора, што резултира бољом регулацијом глукозе, повећаном инсулинском осетљивошћу и ефикаснијим метаболизмом (Sherwood, 2016; OpenStax, 2023).

Такве адаптације омогућавају спортистима и рекреативцима да ефикасније користе енергију, издрже веће физичко оптерећење и одржавају унутрашњу равнотежу, што је кључ за дугорочно здравље и оптималне перформансе.

Хормони	Жлезда	Функција
Кортизол	Надбубрежна жлезда	Повећава глукозу и масне киселине у крви, помаже у адаптацији на стрес
Адреналин	Надбубрежна жлезда	Повећава срчани ритам, проток крви у мишиће и подстиче ослобађање енергије
Инсулин	Панкреас	Омогућава складиштење енергије и контролу глукозе
Глукагон	Панкреас	Повећава ниво глукозе у крви током физичког стреса
Алдостерон	Надбубрежна жлезда	Одржава равнотежу натријума и воде
АДХ	Хипоталамус, хипофиза	Контролише задржавање воде у осомтској равнотежи

Табела 1. Хормони и њихове функције у хомеостази и адаптацији

2.2. Класификација хормона и механизми њиховог деловања

Хормони представљају кључне сигналне молекуле које регулишу метаболичке, физиолошке и адаптивне процесе у организму током различитих облика физичког оптерећења. Они омогућавају краткорочне реакције организма на тренинг, као што је мобилизација енергије, и дугорочне адаптације које побољшавају капацитет мишића, кардиоваскуларног система и метаболичке функције (Kraemer & Ratamess, 2005; Hackney, 2006). Разумевање класификације хормона и механизма њиховог деловања представља основу за проучавање хормонске адаптације на различите облике кондиционог тренинга (McArdle, Katch, & Katch, 2021).

2.2.1. Класификација хормона

1. Према структури:

➤ *Стероидни хормони*

Настали од холестерола, укључују кортизол, тестостерон и естроген, који регулишу метаболизам, адаптацију мишића и мобилизацију енергије током тренинга (Haff & Triplett, 2016; Bird, Tarpenning, & Marino, 2005).

➤ *Пептидни и протеински хормони*

Састоје се од ланаца аминокиселина и укључују инсулин, хормон раста (HGH) и CLE пептиде. Они су одговорни за транспорт глукозе, анаболичке процесе и опоравак мишића након тренинга (Velloso, 2008; West & Phillips, 2012).

➤ *Амински хормони*

Деривати аминокиселина као што су адреналин и норадреналин учествују у активирању симпатичког нервног система, повећавају срчану фреквенцију и мобилишу енергетске ресурсе (Galbo, 1983).

➤ *Еикозаноиди и гасовити хормони*

Еикозаноиди, као што су простагландини и тромбосани, регулишу локалну циркулацију и упалне процесе, док гасовити хормони, попут азот-оксида, делују као локални сигнални молекули који утичу на крвоток мишића током тренинга (Clapp et al., 2002; Moncada & Higgs, 1993).

2. Према растворљивости и механизму деловања

- *Водо-растворљиви хормони* (пептиди и амини) делују преко рецептора на мембрани циљних ћелија, активирајући секундарне преносиоце сигнала. Они омогућавају брзе краткорочне реакције, као што је нагомилавање глукозе и масних киселина током тренинга (Witard et al., 2014).
- *Липидно-растворљиви хормони* (стероиди) пролазе кроз мембрану и делују унутар ћелије, често покрећући геномске ефекте који доводе до дугорочних адаптација, попут повећања мишићне масе и побољшања метаболичких функција (Vingren et al., 2010; Sinha-Hikim et al., 2002).

3. Према месту продукције

- *Ендокрине жлезде код кичмењака*: хипофиза, штитаста жлезда, надбубрежна жлезда и панкреас (Hall, 2021).
- *Производња хормона код биљака*: ауксини и брасинолиди се производе у врховима младих листова и апикалним меристемима; место производње варира током развоја и зависи од спољашњих услова (Taiz & Zeiger, 2015).

2.2.2. Механизми деловања хормона у адаптацији на тренинг

Хормони делују кроз специфичне рецепторе у циљаним ћелијама, покрећући промене у метаболизму, функцији и структурној организацији ткива:

- *Геномски ефекти* – хормони активирају транскрипцију одређених гена, што резултира дугорочним адаптацијама, као што су повећање капиларне густине, синтеза мишићних протеина и побољшање аеробног капацитета (Schoenfeld, 2010; Egan & Zierath, 2013).
- *Не-геномски ефекти* – хормони изазивају брзе промене у функцији ћелија, као што је мобилизација глукозе и масних киселина, повећање срчане фреквенције и тренутна адаптација енергетских токова (McMurray et al., 2009).

Хормони	Класа	Механизам деловања	Улога у тренингу
Адреналин	Амински	Мембрански рецептор, секундарни преносиоци	Брза мобилизација енергије, повећање срчане фреквенције
Норадреналин	Амински	Мембрански рецептор, секундарни преносиоци	Регулација крвног притиска, активирање симпатичког система
Кортизол	Стероидни	Геномски и не-геномски	Катаболизам протеина и липида, адаптација на стрес тренинга
Тестостерон	Стероидни	Геномски	Анаболичка регулација, синтеза протеина мишића
Инсулин	Пептидни	Мембрански рецептор	Контрола глукозе, анаболичке функције, опоравак мишића
Хормон раста	Пептидни	Мембрански рецептор и геномски ефекти	Синтеза протеина, мишићна хипертрофија, метаболичка адаптација

Слика 2. Примери хормона релевантних за тренинге

Разумевање класификације хормона и механизма њиховог деловања је од суштинског значаја за проучавање адаптације организма на различите облике кондиционог тренинга. Водно-растворљиви хормони омогућавају краткорочне, брзе адаптације, док липидно-растворљиви хормони посредују дугорочне ефекте, попут повећања мишићне масе, побољшања метаболизма и кардиоваскуларног капацитета. Познавање ових процеса је основ за оптимизацију тренинга и хормонске регулације ради постизања бољих спортских резултата (Kraemer & Ratamess, 2005; Hackney, 2006; McArdle et al., 2021).

2.3. Хормонски одговор на физички стрес

Физички стрес, укључујући различите облике кондиционог тренинга, активира сложен хормонски одговор који омогућава организму да одржи хомеостазу, мобилише енергетске резерве и адаптира мишићно и кардиоваскуларно ткиво (Hackney, 2006; Kraemer & Ratamess, 2005). Хормони играју кључну улогу у краткорочним адаптацијама, као што је мобилизација глукозе и масних киселина, али и у дугорочним променама које побољшавају снагу, издржљивост и метаболичку ефикасност (McArdle, Katch, & Katch, 2021).

2.3.1. Акутни хормонски одговор

Током једнократног физичког стреса, тело покреће брзе хормонске реакције како би обезбедило енергетску подршку мишићима и одржало кардиоваскуларну функцију.

- *Симпатички нервни систем* активира ослобађање адреналина и норадреналина из надбубрежних жлезда, што доводи до повећања срчане фреквенције, ширења бронхија и мобилизације глукозе и масних киселина (Galbo, 1983; McMurray et al., 2009).
- *HPA ос* (хипоталамо-хипофизарно-надбубрежни ос) стимулише ослобађање кортизола, који подржава катаболичке процесе и регулише инфламаторни одговор (Hackney, 2006; Haff & Triplett, 2016).
- *Метаболички хормони*, попут инсулина и глукагона, одржавају концентрацију глукозе у крви и омогућавају стабилан енергетски ток (Velloso, 2008).

2.3.2. Хронична адаптација

Редован тренинг доводи до дугорочних промена у хормонској регулацији:

- *Снижен базални ниво кортизола* код тренираних атлетичара указује на побољшану толеранцију на стрес (Hackney, 2006).
- *Повишен анаболички потенцијал* – повећање тестостерона и хормона раста доприноси синтези мишићних протеина и опоравку (Kraemer & Ratamess, 2005; West & Phillips, 2012).

- *Побољшана инсулинска осетљивост* омогућава бољу регулацију глукозе и липида, што доприноси енергетској ефикасности (Velloso, 2008; Witard et al., 2014).

2.3.3. Хормонски одговор на различите врсте тренинга

Различити облици тренинга изазивају специфичне хормонске реакције које омогућавају телу да мобилише енергију, адаптира мишиће и кардиоваскуларни систем и подржи опоравак.

Аеробни тренинг, који обухвата дуготрајне активности умереног до високог интензитета, као што су трчање, пливање или бициклизам, стимулише ослобађање *адреналина* и *норадреналина* из надбубрежних жлезда. Ови катехоламини повећавају срчани минутни волумен, шире бронхије и мобилишу глукозу и масне киселине као извор енергије (Galbo, 1983; McMurray et al., 2009). Поред тога, *кортизол*, који се ослобађа НРА осом, подржава катаболичке процесе и обезбеђује довољно глукозе за активне мишиће, истовремено регулишући инфламаторни одговор (Hackney, 2006). Акутни хормонски одговор такође укључује *инсулин* и *глукагон*, који одржавају концентрацију глукозе у крви током тренинга (Velloso, 2008).

Хронични аеробни тренинг доводи до дугорочних адаптација, као што су побољшана *инсулинска осетљивост*, повећан капацитет митохондрија и снижење базалног кортизола, што указује на бољу толеранцију на стрес (Hackney, 2006; Witard et al., 2014). Физиолошки ефекти укључују побољшану кардиоваскуларну ефикасност, већу издржљивост мишића и енергетску ефикасност током дуготрајних активности.

С друге стране, **анаеробни тренинг**, као што је тренинг снаге и експлозивности, активира анаболичке хормонске механизме. Повишени нивои *тестостерона*, *хормона раста* и *IGF-1* стимулишу синтезу мишићних протеина, хипертрофију и опоравак након тренинга (Kraemer & Ratamess, 2005; West & Phillips, 2012). Краткотрајно повећање *кортизола* омогућава мобилизацију аминокиселина за производњу глукозе и адаптацију мишића на стрес (Haff & Triplett, 2016).

Хронични анаеробни тренинг резултује повећањем мишићне масе и снаге, побољшаном регенерацијом мишића и смањењем базалног кортизола у миру, што повећава отпорност организма на катаболички ефекат стреса. Физиолошки ефекти обухватају анаболички раст

мишића, стимулацију костне масе и побољшану метаболичку регулацију глукозе, уз умерено побољшање кардиоваскуларне функције.

Укратко, аеробни тренинг доминира катаболичким и енергетским процесима и оптимизује издржљивост, док анаеробни тренинг стимулише анаболичке процесе, повећава мишићну снагу и подржава опоравак. Разумевање ових специфичних хормонских и физиолошких одговора омогућава прилагођавање тренинга индивидуалним циљевима и оптимизацију адаптације организма (McArdle et al., 2021; Schoenfeld, 2010).

Тип тренинга	Главни хормони (акутни)	Главни хормони (хронични)	Физиолошки ефекти
Аеробни тренинг	Адреналин, норадреналин, кортизол, глукагон	Снижен базални кортизол, боља инсулинска осетљивост	Мобилизација глукозе и масних киселина, повећана издржљивост, побољшана кардиоваскуларна ефикасност, већа активност митохондрија
Анаеробни тренинг	Тестостерон, Хормон раста, ИГФ-1, кортизол	Повишен тестостерон и хормон раста, снижен базални кортизол	Анаболички ефекат на мишиће (синтеза протеина, хипертрофија), већа мишићна снага, стимулација коштане масе, боља регулација глукозе

Табела 3. Аеробни и анаеробни тренинг са основним хормонима и физиолошким ефектима

2.3.4. Физиолошки ефекти

Физиолошки ефекти хормонских адаптација на кондициони тренинг представљају кључну карику у разумевању како организам одговара и прилагођава се различитим облицима оптерећења. Хормони делују као посредници између оптерећења и адаптације, омогућавајући одржавање хомеостазе, подстицање раста и регенерације, али и мобилизацију енергетских ресурса у ситуацијама стреса изазваног тренингом. Током и

непосредно након физичке активности долази до акутног хормонског одговора који обухвата повећано лучење катехоламина (адреналина и норадреналина), кортизола и хормона раста. Овај одговор омогућава мобилизацију енергетских супстрата, повећање протока крви ка активним мишићима и побољшање транспорта кисеоника и хранљивих материја, што је од виталног значаја за одржавање интензитета тренинга и издржљивости у условима физичког стреса (Kraemer & Ratamess, 2005).

Код понављања физичке активности (тренинга) долази и до хроничних хормонских адаптација, међу којима се издвајају повећана осетљивост рецептора за анаболичке хормоне попут тестостерона, IGF-1 и инсулина, смањена секреција катаболичких хормона у мировању, посебно кортизола, као и дугорочно повећање синтезе протеина и хипертрофије мишићних влакана (Crewther et al., 2011). Ове промене омогућавају ефикасније искоришћавање доступних хормона и повољнију равнотежу између анаболизма и катаболизма, што је од суштинске важности за процес адаптације.

Комбинација анаболичких и катаболичких одговора води до тога да спортисти брже обнављају енергетске резерве, остварују већи прираст мишићне масе и снаге, побољшавају толеранцију на физички стрес и смањују ризик од претренираности и повреда. Хормонска адаптација се не огледа само у повећању спортских перформанси, већ и у дугорочном очувању здравља, јер правилна равнотежа хормонског система подржава имуни одговор, метаболизам и регенеративне процесе (Haskney, 2020).

3. КЉУЧНИ ХОРМОНИ У АДАПТАЦИЈИ НА КОНДИЦИОНИ ТРЕНИНГ

Хормонски систем представља централни механизам кроз који организам реагује и прилагођава се различитим облицима физичког оптерећења. Анаболички хормони подстичу синтезу протеина, хипертрофију мишићних влакана и регенерацију ткива, док катаболички хормони мобилишу енергетске ресурсе и одржавају хомеостазу током стреса. Равнотежа између ових хормонских механизма је кључна за дугорочну адаптацију и оптимизацију спортских перформанси (Hackney, 2020).

3.1. Анаболички хормони

Анаболички хормони представљају групу хормона који стимулишу синтезу протеина, раст мишићних влакана и регенерацију ткива. Они креирају повољно окружење за повећање мишићне масе, снаге и експлозивности, што је посебно важно у тренинзима снаге и хипертрофије. Анаболички хормони доприносе унапређењу опоравка после тренинга, оптимизацији метаболизма и дугорочној адаптацији организма на физичко оптерећење. Њихово дејство омогућава ефикасну коришћење енергетских резерви и одржавање хомеостазе, стварајући услове за повећање спортских перформанси и здравствену стабилност (Hackney, 2020; Kraemer & Ratamess, 2005).

3.1.1. Тестостерон

Тестостерон представља један од најважнијих анаболичких хормона у људском организму и има кључну улогу у развоју мишићне масе, снаге и регулацији метаболизма током кондиционог тренинга. Његова секреција се одвија углавном у Лајдиговим ћелијама тестиса код мушкараца, док се код жена производи у мањој мери у јајницима и кори надбубрежних жлезда. Контрола лучења тестостерона реализује се преко хипоталамо-хипофизне осе, при чему гонадотропин-ослобађајући хормон (GnRH) стимулише хипофизу да ослобађа лутеинизирајући хормон (LH), који директно стимулише продукцију тестостерона (Hackney, 2020).

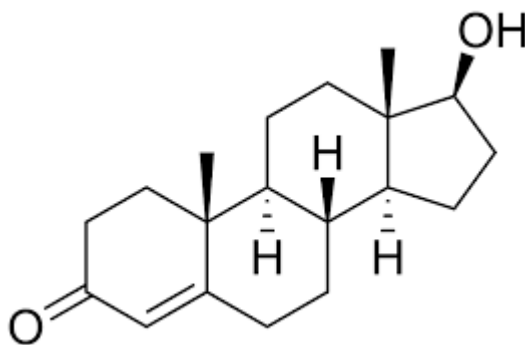
На ћелијском нивоу, тестостерон делује везивањем за андрогене рецепторе у мишићним, нервним и костним ћелијама, иницирајући транскрипцију гена која подстиче синтезу

протеина, пролиферацију мишићних влакана и хипертрофију. У појединим ткивима, као што је простата, тестостерон се претвара у дихидротестостерон (DHT), који има јачи афинитет према андрогеним рецепторима и појачава анаболичке ефекте (Crewther et al., 2011).

Током акутног физичког стреса, посебно током интензивних тренинга снаге и експлозивности, долази до повећања концентрације тестостерона у крви, што омогућава побољшану синтезу протеина и регенерацију мишићних влакана. Овај пораст тестостерона доприноси и побољшању неуромускуларне координације, што је од великог значаја за извођење комплексних моторичких радњи (Kraemer & Ratamess, 2005). Хронични тренинг снаге и хипертрофије води до дугорочних хормонских адаптација, као што су повећана осетљивост рецептора на андрогене и оптимизација анаболичког окружења, што омогућава ефикасније коришћење тестостерона у процесу регенерације и раста мишића (Crewther et al., 2011).

С друге стране, дуготрајан тренинг издржљивости и прекомерно физичко оптерећење могу довести до снижења базалних нивоа тестостерона, што је често повезано са појавом претренираности, смањењем мишићне масе и опадањем спортских перформанси. Због тога је праћење нивоа тестостерона и правилно планирање односа оптерећења и опоравка од изузетног значаја за дугорочну адаптацију и очување здравља спортиста (Hackney, 2020).

У контексту кондиционог тренинга, оптимални нивои тестостерона омогућавају значајан раст мишићне масе и снаге, повећавају експлозивност и доприносе бољем опоравку после тренинга. Контролисани баланс између анаболичких и катаболичких процеса је кључан за одржавање високих спортских перформанси и превенцију повреда, док неправилни тренинзи, недовољан сан или нутритивни дефицити могу нарушити тестостеронску равнотежу и успорити адаптацију (Kraemer & Ratamess, 2005; Hackney, 2020).



Слика 1. Тестостерон - структурална формула (Wikipedia)

3.1.2. Хормон раста

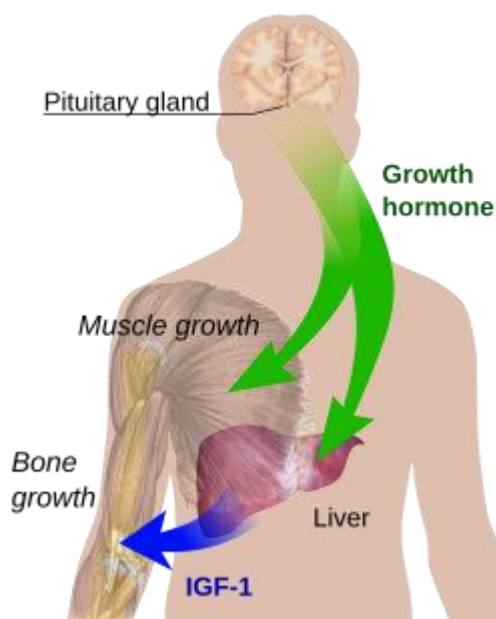
Хормон раста (GH) је критичан анаболички хормон који учествује у регулацији метаболизма, рестаурацији ткива и стимулацији раста мишићних влакана. GH се лучи из хипофизне предње лозе и његова секреција је под контролом хипоталамо-хипофизне осе преко соматотропин-ослобађајућег хормона (GHRH) и соматостатина, који регулишу амплитуду и учесталост пулсних ослобађања. GH делује директно на ткива и посредно кроз посреднике као што је IGF-1, који појачава анаболичке ефекте хормона раста (Hackney, 2020).

GH има широк спектар физиолошких ефеката. Он стимулише синтезу протеина у мишићима, поспешује хипертрофију мишићних влакана и подстиче ремоделовање костију, чиме унапређује функционалну снагу и стабилност скелета. Поред тога, GH стимулише липолизу, повећава коришћење масти као енергетског извора и подржава одржавање глукозе у крви, што омогућава мобилизацију енергетских резерви током физичког стреса (Crewther et al., 2011).

Током интензивних тренинга снаге и експлозивности, GH се акутно повећава у крви, доприносећи опоравку и регенерацији ткива, као и адаптацији на веће физичко оптерећење. Дугорочни тренинг доводи до повећане осетљивости ткива на GH и побољшаног анаболичког окружења у мишићима. Ова адаптација омогућава ефикасније коришћење енергетских супстрата, смањује ризик од повреда и унапређује спортске перформансе (Hackney, 2020; Kraemer & Ratamess, 2005).

С друге стране, неправилан тренинг, прекомерно оптерећење и недовољан опоравак могу смањити ефективно дејство GH, што доводи до смањене синтезе протеина, успореног

опоравка и сниженог капацитета мишића за адаптацију на тренинг. Стога је праћење и оптимизација тренинга у складу са физиолошким одговором ГН од суштинског значаја за дугорочно унапређење кондиције и спортских резултата (Crewther et al., 2011).



Слика 2. Деловање хормона раста (Wikipedia)

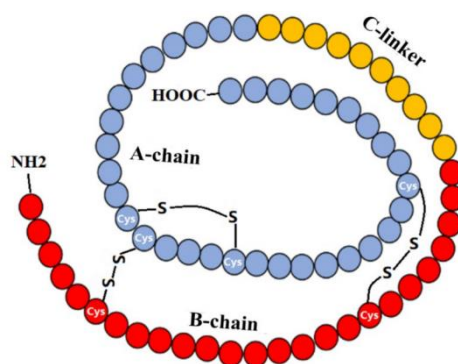
3.1.3. ИГФ-1 (Insulin-like Growth factor)

ИГФ-1 је критичан анаболички хормон који делује као посредник ефеката хормона раста (ГН) и игра значајну улогу у расту, регенерацији и одржавању мишићног ткива. IGF-1 се синтетише у јетри и периферним ткивима као одговор на ГН и има системски и локални ефекат, омогућавајући пролиферацију и диференцијацију мишићних ћелија (Haskney, 2020).

У контексту кондиционог тренинга, IGF-1 стимулише синтезу протеина и смањује разграду мишићних влакана, што доприноси хипертрофији и повећању мишићне масе. Локални, аутокрини и паракрини ефекти IGF-1 у мишићима су посебно важни јер омогућавају директну адаптацију ткива на механичко оптерећење. Повећана концентрација IGF-1 после тренинга утиче на раст мишића, унапређује опоравак и подстиче анатомске и функционалне адаптације неопходне за дугорочне спортске перформансе (Crewther et al., 2011).

Акутни тренинг снаге и високоинтензивне активности доводе до повишене секреције IGF-1, што омогућава мобилизацију анаболичких механизма у периферним ткивима. Дугорочно, редовни тренинг повећава осетљивост мишићних рецептора на IGF-1 и оптимизује ефикасност хормонског одговора на физичко оптерећење. Ова хормонска адаптација игра кључну улогу у унапређењу снаге, експлозивности и издржљивости, као и у превенцији повреда и смањењу ризика од претренираности (Hackney, 2020; Kraemer & Ratamess, 2005).

Поред улоге у анаболичким процесима, IGF-1 је важан за метаболичку регулацију, јер доприноси бољем коришћењу глукозе и липида током тренинга, обезбеђујући енергетску подршку мишићним ћелијама. Недовољна секреција или смањена осетљивост на IGF-1 може успорити регенерацију мишића и смањити адаптацију на тренинг, што указује на значај праћења и оптимизације хормонског окружења у процесу кондиционог рада (Crewther et al., 2011).



Слика 3. Шема структуре ИГФ-1 (Ge, Liu, Rubin, & Zheng, 2022)

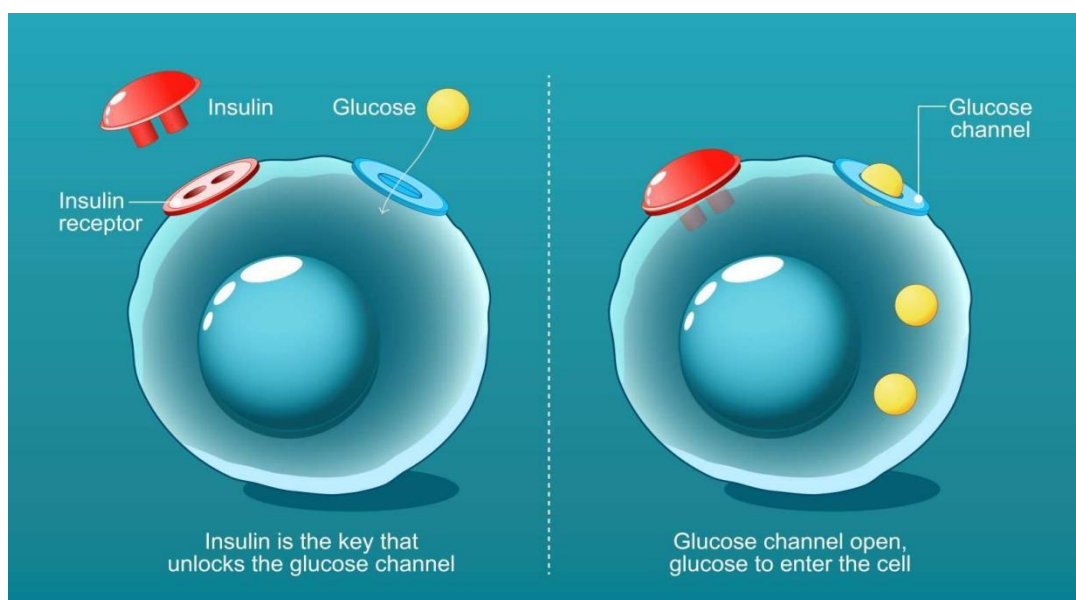
3.1.4. Инсулин

Инсулин је пептидни хормон који игра кључну улогу у регулацији метаболизма угљених хидрата, масти и протеина, као и у анаболичким процесима мишићног ткива. Синтетише се у бета ћелијама панкреаса и ослобађа у крвоток као одговор на повећану концентрацију глукозе, а његова функција је критична за транспорт глукозе у мишићне и јетрене ћелије. Поред тога, инсулин има анаболички ефекат јер стимулише синтезу протеина и инхибира катаболичке процесе као што је протеолиза (Hackney, 2020).

У контексту кондиционог тренинга, инсулин омогућава ефикасну ресинтезу гликогена након интензивних активности, што је посебно важно за брз опоравак и одржавање

енергетских резерви за наредне тренинге. Комбинација адекватног нутријентног уноса и физиолошког дејства инсулина омогућава мишићима да искористе доступну енергију и обезбеде оптимално анаболичко окружење. Овај хормон такође подстиче пролиферацију и регенерацију мишићних влакана, доприносећи дугорочном повећању мишићне масе и снаге (Kraemer & Ratamess, 2005).

Током акутних тренинга, посебно снаге и хипертрофије, ниво инсулина у крви може бити релативно смањен због повећаног коришћења глукозе, али након тренинга, његов пораст у комбинацији са уносом угљених хидрата и протеина игра кључну улогу у опоравку. Дугорочно, редовни тренинг побољшава осетљивост мишићних ћелија на инсулин, што омогућава ефикасније коришћење енергије и бољу адаптацију на физичко оптерећење. Недовољна активност инсулина или смањена осетљивост на њега може успорити регенерацију мишића и смањити перформансе, што наглашава важност оптимизације исхране, опоравка и тренинга (Hackney, 2020; Crewther et al., 2011).



Слика 4. Улога инсулина у метаболизму глукозе, липида и протеина (Tashko, 2023)

3.2. Катаболички хормони

Катаболички хормони мобилишу енергетске ресурсе организма и омогућавају прилагођавање на физички и психолошки стрес. Они подстичу разлагање гликогена и протеина како би обезбедили енергију мишићима и одржали хомеостазу током интензивног оптерећења. Присуство катаболичких хормона је неопходно за одржавање

циркулације, снабдевање мишића кисеоником и нутритивним материјама, као и за адаптацију на краткорочне и дугорочне физичке захтеве. Уравнотежен однос између анаболичких и катаболичких хормона омогућава оптималну адаптацију и смањује ризик од претренираности и повреда, истовремено подржавајући дугорочно очување здравља спортисте (Hackney, 2020; Kraemer & Ratamess, 2005).

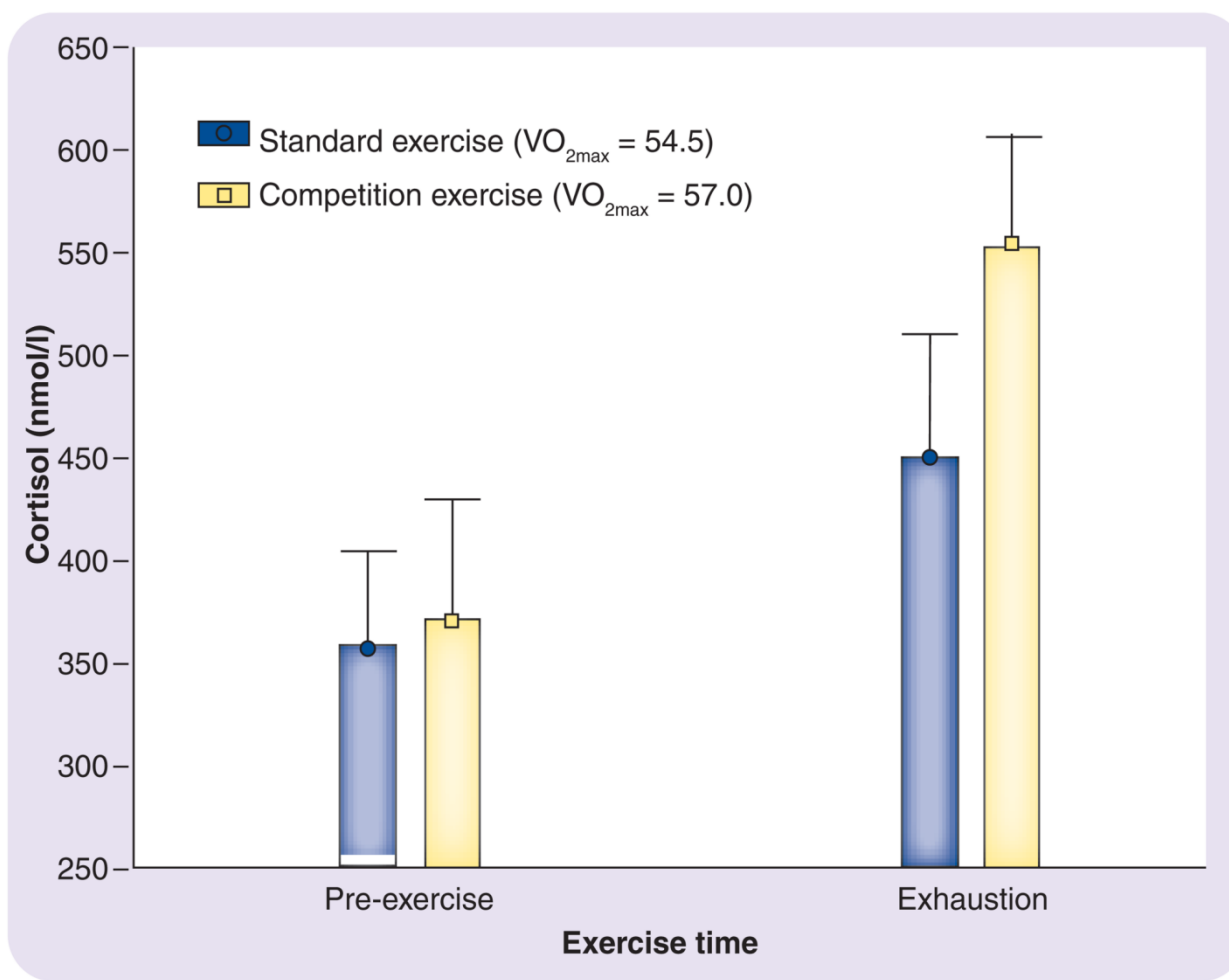
3.2.1. Кортизол

Кортизол је главни стероидни катаболички хормон који се лучи из кори надбубрежних жлезда као одговор на стрес и физичко оптерећење. Његова секреција је под контролом хипоталамо-хипофизно-надбубрежне (НРА) осе, при чему кортикотропин-ослобађајући хормон (CRH) стимулише хипофизу да ослобађа адренкортикотропни хормон (АСТН), који затим активира продукцију и секрецију кортизола у крвоток (Hackney, 2020).

Физиолошки, кортизол има кључну улогу у мобилизацији енергетских ресурса, повећавајући глуконеогенезу у јетри, разградњу протеина и липолизу у периферним ткивима. Тиме се обезбеђује енергија мишићима током интензивног тренинга и стресних ситуација. Поред тога, кортизол учествује у регулацији крвног притиска, имуног одговора и запаљенских процеса, чиме помаже организму да одржи хомеостазу (Kraemer & Ratamess, 2005).

Током акутног тренинга, повишени нивои кортизола доприносе адаптацији организму на физички стрес, обезбеђујући мобилизацију гликогена и масти као извора енергије. Међутим, хронично повишени нивои кортизола, који могу настати услед прекомерног тренинга или недовољног опоравка, имају негативан ефекат на мишићну масу и анаболичке процесе, повећавају ризик од претренираности и смањују спортске перформансе (Hackney, 2020).

Ефикасна адаптација на тренинг захтева контролисан однос између кортизола и анаболичких хормона, јер превелика концентрација кортизола у односу на анаболичке хормоне може довести до катаболичног окружења, смањења мишићне масе и смањене способности опоравка. Праћење и оптимизација тренинга, исхране и опоравка имају критичан значај за одржавање повољног баланса кортизола и обезбеђивање дугорочне адаптације и здравља спортиста (Crewther et al., 2011; Hackney, 2020).



Слика 5. Ниво кортизола у крви мушкараца пре и после максималног теста трчања на траци у нормалним и симулираним такмичарским условима. VO_{2max}: Максимални унос кисеоника (Hackney, 2023)

3.2.2. Адреналин

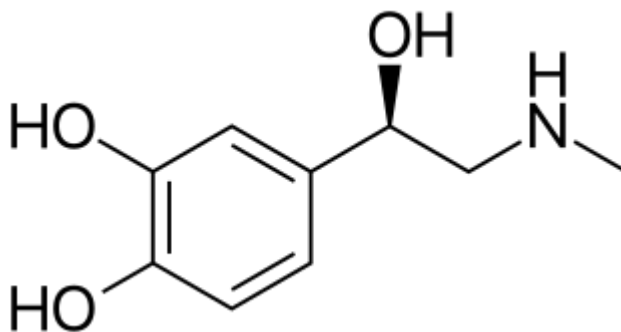
Адреналин, познат и као епинефрин, је катехоламини хормон који се лучи из медуле надбубрежних жлезда у реакцији на акутни физички или психолошки стрес. Његова секреција је контролисана симпатичким нервним системом и служи као брз механизам мобилизације енергије и активирања физиолошких процеса потребних за одговор „бори се или бежи“ (Hackney, 2020).

Физиолошки ефекти адреналина укључују повећање срчане фреквенције, протока крви ка скелетним мишићима, вазодилатацију у мишићном ткиву и вазоконстрикцију у неактивним органима. Осим тога, адреналин стимулише разградњу гликогена у јетри и

мишићима, као и липолизу у масном ткиву, обезбеђујући брз приступ енергији потребној за интензивну физичку активност (Kraemer & Ratamess, 2005).

Током акутног кондиционог тренинга, посебно високог интензитета и експлозивних активности, адреналин игра критичну улогу у одржавању високе снаге и издржљивости мишића. Он омогућава спортисти да одржи интензитет тренинга, побољша брзину реакције и координацију, као и да унапреди перформансе у краткотрајним, снажним активностима (Hackney, 2020).

Међутим, хронична или претерана активност адреналина без адекватног опоравка може довести до повећаног стресног оптерећења на срчано-васкуларни систем, смањења имуног одговора и повећаног ризика од повреда. Стога, усклађивање тренинга, исхране и периода опоравка је кључно за оптимално коришћење ефеката адреналина, омогућавајући спортским перформансама да достигну максималан потенцијал без негативних последица (Crewther et al., 2011).



Слика 6. Структурална формула адреналина (Wikipedia)

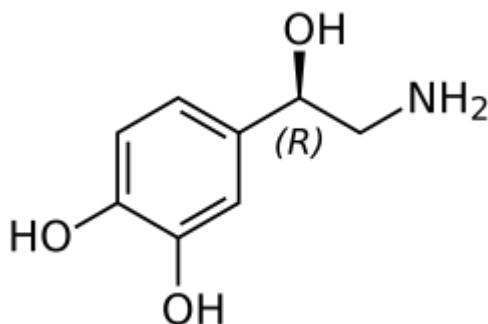
3.2.3. Норадреналин

Норадреналин, такође познат као норепинефрин, је катехоламини хормон и неуротрансмитер који се лучи углавном из нервних завршетака симпатичког нервног система и у мањој мери из медуле надбубрежних жлезда. Његова секреција се активира у условима акутног физичког или психолошког стреса и служи као кључни регулатор васкуларног тонууса и циркулационе хомеостазе (Hackney, 2020).

Физиолошки, норадреналин повећава срчани минутни волумен и системски васкуларни отпор, чиме обезбеђује оптималну перфузију виталних органа и активних мишића током тренинга. Он стимулише мобилизацију гликогена и липида као енергетских супстрата и повећава доступност кисеоника у мишићима, што омогућава одржавање интензитета активности и оптималну адаптацију на физички стрес (Kraemer & Ratamess, 2005).

Током акутних тренинга издржљивости и високог интензитета, норадреналин доприноси одржавању стабилности крвног притиска, побољшању реакција у мишићима и повећању перформанси у условима повећаног оптерећења. Он делује у синергији са адреналином, омогућавајући комплексни и ефикасан хормонски одговор на физичко оптерећење.

Међутим, хронично повишени нивои норадреналина, који могу настати услед прекомерног тренинга или стреса, могу довести до преоптерећења кардиоваскуларног система, поремећаја спавања и смањене способност опоравка. Стога, уравнотежено планирање тренинга, адекватан опоравак и контролисан интензитет активности су кључни за оптималну адаптацију организма и дугорочно очување здравља спортиста (Hackney, 2020; Crewther et al., 2011).



Слика 7. Структурална формула норадреналина (Wikipedia)

3.3. Хормонска равнотежа и значај за спортске перформансе

Хормонска равнотежа представља кључни фактор у оптималној адаптацији организма на физичко оптерећење. Анаболички и катаболички хормони делују у динамичној интеракцији, обезбеђујући мобилизацију енергије, регенерацију ткива и одржавање хомеостазе током тренинга и периода опоравка. Превласт анаболичких хормона, као што су тестостерон, хормон раста, IGF-1 и инсулин, подстиче синтезу протеина, хипертрофију

мишићних влакана и повећање снаге и експлозивности. С друге стране, катаболички хормони као што су кортизол, адреналин и норадреналин обезбеђују енергетску подршку и омогућавају организму да се прилагоди акутним и хроничним физичким стресовима (Hackney, 2020; Kraemer & Ratamess, 2005).

Оптимална равнотежа између ова два типа хормона омогућава спортски напредак без ризика од претренираности и повреда. Превисоки нивои катаболичких хормона у односу на анаболичке могу довести до смањења мишићне масе, успоравања опоравка и смањених перформанси, док адекватан баланс ствара повољно анаболичко окружење које подржава раст и регенерацију мишића. Хормонска равнотежа такође има значајан утицај на имунолошки систем, метаболизам и психолошку отпорност, што је од суштинског значаја за дугорочно очување здравља спортиста (Crewther et al., 2011).

У пракси, праћење хормонских профила и усклађивање тренинга, исхране и опоравка омогућавају спортистима да максимизују адаптацију и побољшају спортске перформансе. Контролисана хормонска равнотежа омогућава ефикасније коришћење енергије, бољу толеранцију на физички стрес и стабилан напредак у мишићној маси и снази, што је кључно за дугорочну кондицију и превенцију повреда (Hackney, 2020; Kraemer & Ratamess, 2005).

4. ХОРМОНСКЕ АДАПТАЦИЈЕ НА РАЗЛИЧИТЕ ОБЛИКЕ КОНДИЦИОНОГ ТРЕНИНГА

Различити облици кондиционог тренинга изазивају специфичне хормонске одговоре који имају кључну улогу у процесу адаптације организма. Ендокрини систем реагује на физичко оптерећење кроз лучење и регулацију различитих хормона, међу којима се посебно издвајају тестостерон, кортизол, хормон раста, инсулин и катехоламини (Kraemer & Ratamess, 2005; Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019). Ови хормони посредују у процесима синтезе протеина, мобилизације енергетских супстрата, регулацији имуног система и адаптацији на стрес (Hackney, 2020).

4.1. Тренинг снаге и хипертофије

Тренинг снаге представља један од најефикаснијих стимуланса за адаптацију мишићно-скелетног и неуроендокриног система. Анаболички хормони, пре свега тестостерон, хормон раста (GH) и инсулину сличан фактор раста 1 (IGF-1), играју кључну улогу у процесима мишићне хипертрофије и повећања снаге (Kraemer & Ratamess, 2005; Vingren et al., 2010). Тестостерон стимулише синтезу протеина у мишићним влакнима и активира сателитске ћелије, што омогућава регенерацију и раст мишићне масе. Хормон раста и IGF-1 доприносе анаболичким процесима путем регулације метаболизма протеина и липида, као и повећања густине костију и ткива (Crewther, Cook, Cardinale, Weatherby, & Lowe, 2011).

Акумулација кортизола током интензивног тренинга снаге има катаболички ефекат, али истовремено омогућава мобилизацију енергетских ресурса, као што су аминокиселине и глукоза. Ово је посебно важно за одржавање енергетске хомеостазе током оптерећења великог интензитета (Hackney, 2020). Умерена експресија кортизола има адаптивну улогу, јер учествује у регулацији запаљенских процеса и промовише опоравак после тренинга.

Поред хормонских промена у плазми, хронични тренинг снаге доводи до дуготрајних адаптација на нивоу мишићних рецептора и нервног система. Сензитивност рецептора за анаболичке хормоне се повећава, што омогућава ефикаснију синтезу протеина чак и при умереним концентрацијама хормона. Поред тога, побољшава се и неуромијшићна координација, што доприноси оптимизацији перформанси и смањењу ризика од повреда (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

Недавна истраживања показују да високоинтензивни тренинг снаге ($\geq 70\%$ 1RM) са умереним бројем понављања значајно повећава акутни одговор тестостерона и GH, док истовремено краткорочни пораст кортизола обезбеђује метаболичку подршку (Vidić et al., 2021). Такође, комбиновање вежби са различитим распоредом сетова и периодом одмора доводи до оптимизације анаболичког потенцијала и побољшања неуромијшићне адаптације.

Практичне импликације за спортисте укључују потребу за правилним дозирањем обима и интензитета тренинга, праћење знакова прекомерног стреса и периодизацију, како би се максимализовала анаболичка адаптација без преоптерећења организма. На пример, комбинација вишеструких сетова умереног до високог оптерећења са контролисаним периодима одмора доказано оптимизује хормонски одговор и доприноси повећању мишићне масе (Kraemer & Ratamess, 2005; Crewther et al., 2011).

Поред тога, истраживање (Vidić et al., 2021) наглашава значај праћења индивидуалне варијабилности у хормонском одговору, јер спортисти различито реагују на исте протоколе снаге, што указује на потребу за индивидуалним приступом у програмима тренинга.

4.2. Тренинг издржљивости

Тренинг издржљивости обухвата дуготрајне аеробне активности умереног до високог интензитета, које пре свега стимулишу кардиоваскуларни, респираторни и енергетски метаболички систем. Хормонски одговор на ову врсту тренинга обухвата умерено повећање анаболичких хормона као што су тестостерон и хормон раста, али приметан пораст се односи на катаболички хормон кортизол, који омогућава мобилизацију глукозе, липида и аминокиселина као извора енергије (Hackney, 2020; Kraemer & Ratamess, 2005).

Током аеробних активности долази до значајног лучења катехоламина – адреналина и норадреналина. Они имају вишеструке ефекте: повећавају срчану фреквенцију, шире бронхије, стимулишу липолизу и гликогенолизу, те доприносе оптимизацији снабдевања мишића кисеоником и енергентима. Овај механизам обезбеђује довољан енергетски ресурс током дуготрајног оптерећења и омогућава одржавање перформанси (Vingren et al., 2010).

Хронични тренинг издржљивости доводи до дугорочних адаптација ендокриног система и метаболизма. Повећава се осетљивост мишићних ћелија на инсулин, што побољшава транспорт глукозе у мишиће и смањује ризик од метаболичких поремећаја. Регулација кортизола постаје ефикаснија, са смањеним хроничним нивоом у одсуству стресног стимулуса, што омогућава бољи опоравак и смањује ризик од катаболичког ефекта (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

Такође, дуготрајни аеробни тренинг стимулише умерено лучење тестостерона и хормона раста, што доприноси очувању мишићне масе, регулацији метаболизма протеина и побољшању костију и везивног ткива. Ови ефекти омогућавају спортистима да задрже мишићну снагу и перформансе чак и током великих количина аеробног оптерећења (Hackney, 2020; Vingren et al., 2010).

Недавна истраживања показују да дуготрајни интервални тренинг издржљивости (нпр. 30–60 минута на 70–85% VO_2max) значајно повећава осетљивост на инсулин и регулише кортизолски одговор током дневних активности, што доприноси бољем опоравку и смањењу хроничног стреса на организам (Smith et al., 2022).

Практичне импликације за спортисте подразумевају:

- Пажљиву контролу обима и интензитета тренинга како би се избегла хронична прекомерна секреција кортизола
- Периодизацију тренинга која комбинује аеробне и анаеробне компоненте
- Интеграцију снаге или кондиционог тренинга ради очувања мишићне масе и оптимизације анаболичког потенцијала.

Ове адаптације омогућавају дугорочно побољшање аеробног капацитета, ефикаснију мобилизацију енергетских резерви, бољи опоравак и смањење ризика од прекомерног стреса на организам (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

Поред тога, (Smith et al., 2022) истичу значај праћења индивидуалних хормонских профила, јер различити спортисти могу показати различиту секрецију кортизола и GH током истих аеробних протокола, што указује на потребу за персонализованим планом тренинга и периодизацијом.

4.3. Тренинг брзине

Тренинг брзине се фокусира на способност мишића да генеришу максималну брзину кретања у кратком временском периоду, што је критично у спортовима који захтевају брзе покрете, као што су атлетика, фудбал и кошарка. Овај облик тренинга изазива специфичан хормонски одговор који укључује акутно повећање анаболичких хормона – тестостерона и хормона раста (GH), као и катехоламина – адреналина и норадреналина (Crewther, Cook, Cardinale, Weatherby, & Lowe, 2011).

Тестостерон стимулише синтезу протеина и повећава активност сателитских ћелија, што омогућава адаптацију мишићних влакана типа II, одговорних за брзе и експлозивне контракције. Хормон раста и IGF-1 подржавају анаболичке процесе, побољшавају метаболичку ефикасност и доприносе регенерацији ткива (Vingren et al., 2010). Катехоламини повећавају проводљивост нервних импулса, стимулишу мобилизацију гликогена и липида и побољшавају неуромијшићну координацију, омогућавајући веће брзине покрета.

Краткорочне адаптације укључују повећање експлозивне снаге, бољу брзину реакције и повећану ефикасност мишићних контракција. Дугорочне адаптације обухватају развој брзих мишићних влакана, оптимизацију неуромијшићне координације и повећану сензитивност рецептора на анаболичке хормоне. Спортисти који редовно тренигују брзину показују бољу способност да одрже високу интензитет током краткотрајних спринтова, што је важно за перформансе у спортовима високог темпа (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

Недавне студије показују да интензивни кратки спринт протоколи (10–30 секунди максималног напора) повећавају акутну секрецију тестостерона и GH више него константни аеробни рад, што доприноси бржој адаптацији мишићних влакана типа II и бољој експлозивности (Jones et al., 2021).

Практичне препоруке за тренинг брзине укључују:

- Коришћење кратких интервала високог интензитета са адекватним периодом одмора
- Комбиновање тренинга снаге и брзине ради подршке мишићно-неуронским адаптацијама
- Редовно праћење знакова прекомерног стреса и умора како би се избегла хронична секреција катаболичких хормона, пре свега кортизола.

Индивидуалне варијације у хормонском одговору на тренинг брзине наглашавају потребу за персонализованим протоколима, при чему се обим и интензитет сесија прилагођавају спортистовој способности опоравка и акутној анаболичкој реакцији (Jones et al., 2021).

4.4. Тренинг експлозивности (плиометрија и олимпијска дизања)

Тренинг експлозивности је усмерен на развој способности мишића да генеришу максималну силу у кратком временском периоду. Он комбинује плиометријске вежбе (скакање, скокови са кутије, спринтови) и олимпијска дизања (чучњеви, „clean & jerk“, „snatch“) како би се развила мишићна снага, брзина и координација (Kraemer & Ratamess, 2005; Crewther et al., 2011).

4.4.1. Хормонски одговори

Током овог типа тренинга долази до **интензивног краткорочног повећања тестостерона**, који стимулише анаболичке процесе у мишићима и повећава активност сателитских ћелија, што је основ за раст мишићне масе и побољшање мишићне снаге. **Хормон раста (GH)** се лучи у великим количинама, доприноси регулицији протеинског и липидног метаболизма, као и адаптацији костију и везивног ткива (Vingren et al., 2010).

Катехоламини – адреналин и норадреналин – стимулишу симпатички нервни систем, повећавају брзину проводљивости нервних импулса, мобилишу гликоген и липиде као енергетски ресурс и повећавају срчану фреквенцију, што омогућава максималну експлозивност и одржавање високог интензитета кретања (Crewther et al., 2011).

Кортизол се такође повећава током интензивних серија, али умерен пораст омогућава мобилизацију енергетских резерви и учествује у регулицији хомеостазе организма. Дугорочно, адаптације хормонског система резултирају бољом регулицијом катаболичких процеса и повећањем анаболичке ефикасности (Hackney, 2020).

4.4.2. Краткорочне и дугорочне адаптације

Краткорочне адаптације укључују:

- повећање експлозивне снаге
- побољшану неуромијшићну координацију
- већу брзину реакције и контракције мишића
- побољшану мобилизацију енергије током кратких интензивних покрета.

Дугорочне адаптације обухватају:

- развој брзих мишићних влакана (тип IIa и IIx)
- повећану еластичност тетива и мишићних група
- оптимизацију неуромијшићних путања
- побољшану способност за продукцију максималне силе у кратком временском периоду
- ефикаснији хормонски одговор на будућа оптерећења (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

4.4.3. Практични примери примене

Примери плиометријских вежби:

- скокови са кутије и спринт скокови
- скокови суножно
- континуирани скокови у серијама за развој еластичности мишића.

Примери олимпијских вежби:

- „clean & jerk“ и „snatch“ са контролисаним оптерећењем
- чучњеви са експлозивним подизањем
- комбинације са бучицама или шипком за развој неуромишићне координације.

Практичне препоруке:

- пажљиво дозирање обима и интензитета како би се избегле повреде

- комбиновање плиометријских и олимпијских вежби са адекватним периодима одмора
- праћење умора, нутритивног статуса и хидратације
- интеграција снаге и кондиције ради оптимизације хормонских и мишићних адаптација
- коришћење периодизације и микропериода да би се максимизирао анаболички потенцијал организма.

Комбиновање плиометријских и олимпијских вежби омогућава развој свих аспеката експлозивности: максималне силе, брзине и издржљивости мишића, као и оптимизацију хормонских одговора који подржавају дугорочне перформансе спортиста.

4.5. Комбиновани облици кондиционог рада

Комбиновани облици кондиционог рада представљају интеграцију различитих типова тренинга – снаге, издржљивости, брзине и експлозивности – у један програм са циљем постизања свеобухватне физичке припремљености. Ови облици тренинга изазивају комплексне хормонске одговоре, јер истовремено активирају и анаболичке и катаболичке системе организма (Kraemer & Ratamess, 2005; Hackney, 2020).

4.5.1. Хормонски одговори

Током комбинованог тренинга, тестостерон и хормон раста се лучше у различитим фазама сесије, у зависности од типа оптерећења. На пример, сесија која комбинује вежбе снаге и експлозивности може довести до израженог краткорочног повећања тестостерона и GH, што стимулише синтезу протеина, адаптацију мишићних влакана типа II и побољшање неуромијшићне координације (Crewther, Cook, Cardinale, Weatherby, & Lowe, 2011).

С друге стране, укључивање аеробних компоненти доводи до умереног повећања кортизола, који мобилише енергетске резерве из липида и гликогена и подржава метаболичку хомеостазу. Адреналин и норадреналин се лучше током динамичких и брзинских вежби, што побољшава срчану фреквенцију, снабдевање мишића кисеоником и метаболичку ефикасност (Vingren et al., 2010).

4.5.2. Краткорочне и дугорочне адаптације

Краткорочне адаптације укључују повећање снаге, брзине и издржљивости у једној сесији, док дугорочне подразумевају интегрисани развој мишићне масе, аеробног капацитета, експлозивности и побољшању регулацију хормонског система. Комбиновани тренинг доводи до побољшања сензитивности рецептора за анаболичке хормоне, оптимизације кортизолског одговора и бољег опоравка након оптерећења (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

4.5.3. Практични примери

Применом комбинованог тренинга могу се истовремено развити више физичких капацитета, али је неопходно пажљиво дозирање обима, редоследа и интензитета. Примери практичних приступа укључују:

- Извођење сесија које комбинују аеробни део на почетку са вежбама снаге и експлозивности након адекватног одмора
- Периодизацију тренинга тако да се избегне хронична секреција кортизола
- Праћење знакова умора, хидратације и нутритивног статуса како би се подржао анаболички потенцијал организма.

Комбиновани облици тренинга омогућавају спортистима да истовремено побољшају више физичких капацитета, оптимизују хормонски одговор и смање ризик од дисбаланса између анаболичких и катаболичких процеса.

4.6. Савремени модели кондиционог тренинга

Савремени модели кондиционог тренинга представљају интеграцију научно заснованих приступа који омогућавају оптимизацију перформанси, минимизацију ризика од повреда и унапређење хормонских и метаболичких адаптација. За разлику од класичних модела који се фокусирају само на један аспект физичке припремљености, савремени приступ комбинује различите облике тренинга – снаге, издржљивости, експлозивности, брзине и координације – у један функционални систем прилагођен индивидуалним потребама спортисте (Kraemer & Ratamess, 2005; Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

4.6.1. Хормонске основе и физиолошки механизми

Савремени модели тренинга изазивају сложене хормонске одговоре који се разликују у зависности од типа и редоследа оптерећења:

- **Тестостерон:** анаболички хормон који стимулише синтезу протеина, развој мишићне масе, повећава активност сателитских ћелија и доприноси брзини мишићних контракција. Тестостерон је кључан у адаптацији на снажне и експлозивне протоколе, као и за одржавање мишићне масе током аеробних компоненти (Crewther et al., 2011; Vingren et al., 2010).
- **Хормон раста (GH):** стимулише анаболичке процесе у мишићима и костима, побољшава метаболизам протеина и липида, подржава регенерацију ткива и смањује мишићни катаболизам. GH се лучи у већим количинама током интервалних, експлозивних и плиометријских сесија (Kraemer & Ratamess, 2005).
- **Катехоламини (адреналин и норадреналин):** активирају симпатички нервни систем, повећавају проводљивост нервних импулса, мобилишу гликоген и липиде као енергетски ресурс, побољшавају срчану фреквенцију и омогућавају извођење високог интензитета. Они такође доприносе побољшаној брзини реакције и неуромијшићној координацији (Hackney, 2020).
- **Кортизол:** катаболички хормон који мобилише енергетске резерве, доприноси адаптацији на стрес и регулише хомеостазу. Умерено повећање кортизола током тренинга има адаптивну улогу, док хронично висок ниво може смањити анаболичке ефекте и успорити опоравак (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

4.6.2. Краткорочне адаптације

Током једне сесије савременог кондиционог тренинга могу се уочити следеће краткорочне адаптације:

- **Функционалне:** повећање мишићне снаге, експлозивности, брзине и координације; боља мобилизација енергије током оптерећења; повећана реакциона способност и психофизиолошка спремност за интензивне активности.
- **Хормонске:** краткотрајно повећање тестостерона и GH; повећан адреналин и норадреналин; умерен пораст кортизола ради мобилизације енергије.

- **Метаболичке:** активација гликогенских и липидних резерви; побољшана транспортна способност глукозе у мишићима; повећан аеробни и анаеробни метаболизам.

4.6.3. Дугорочне адаптације

Хронична примена савремених модела доводи до интегрисаних дугорочних адаптација:

- Развој брзих и експлозивних мишићних влакана (тип IIa и IIx)
- Повећање аеробног капацитета и метаболичке ефикасности
- Боља регулација хормонског система и повећана сензитивност на анаболичке хормоне
- Ефикаснији опоравак након тренинга и смањен ризик од повреда
- Побољшана координација, стабилност и функционална способност тела у комплексним покретима
- Интегрисани развој снаге, издржљивости, брзине и експлозивности у једном програму.

Примери савремених протокола укључују:

- **Високоинтензивни интервални тренинг (HIIT):** серије максималног интензитета (20–60 секунди) са периодима одмора (пасивним или активним), које стимулишу анаболичке и катаболичке хормоне, побољшавају VO_{2max} и метаболичку флексибилност.
- **Функционални тренинг:** интегрисани покрети који укључују чучњеве, скокове, веслачке покрете и руковање теговима; активира више мишићних група истовремено, развија координацију, снагу и стабилност.
- **Комбиновани тренинг снаге и издржљивости:** редослед анаеробног и аеробног рада у истој сесији или у микроцикли, подржава анаболичке адаптације и побољшава метаболичку ефикасност.
- **Плиометријски и експлозивни тренинг:** скокови са кутије, спринтови, „clean & jerk“ и „snatch“; развијају експлозивност, брзину и мобилизацију енергије; стимулишу анаболичке хормоне и GH.

- **Интегрисани кругови и високо-функционални тренинг:** комбиновање вежби снаге, издржљивости и координације у једној серији, што побољшава функционалну способност и издржљивост ткива.

Примери савремених протокола:

- **Високоинтензивни интервални тренинг (НПТ):** серије максималног интензитета (20–60 секунди) са периодима одмора (пасивним или активним), које стимулишу анаболичке и катаболичке хормоне, побољшавају $\text{VO}_{2\text{max}}$ и метаболичку флексибилност.
- **Функционални тренинг:** интегрисани покрети који укључују чучњеве, скокове, веслачке покрете и руковање теговима; активира више мишићних група истовремено, развија координацију, снагу и стабилност.
- **Комбиновани тренинг снаге и издржљивости:** редослед анаеробног и аеробног рада у истој сесији или у микроцикли, подржава анаболичке адаптације и побољшава метаболичку ефикасност.
- **Плиометријски и експлозивни тренинг:** скокови са кутије, спринтови, „clean & jerk“ и „snatch“; развијају експлозивност, брзину и мобилизацију енергије; стимулишу анаболичке хормоне и GH.
- **Интегрисани кругови и високо-функционални тренинг:** комбиновање вежби снаге, издржљивости и координације у једној серији, што побољшава функционалну способност и издржљивост ткива.

4.6.4. Практична примена

Савремени модели кондиционог тренинга омогућавају:

- Интегрисани развој свих физичких капацитета
- Оптимизацију хормонског одговора кроз дозирање обима, редоследа и интензитета
- Смањење ризика од повреда и хроничног стреса
- Побољшање адаптације на психофизиолошки стрес и ефикаснији опоравак
- Индивидуализацију програма на основу способности спортиста, праћење умора, нутритивног статуса и хидратације (Kraemer & Ratamess, 2005; Hackney, 2020).

Савремени модели тренинга омогућавају да се хормонски, метаболички и неуромијшићни системи развијају синхронизовано, чиме се постиже дугорочна оптимизација перформанси и смањује ризик од прекомерног катаболизма или повреда.

5. ФАКТОРИ КОЈИ УТИЧУ НА ХОРМОНСКЕ АДАПТАЦИЈЕ

Хормонске адаптације на физичку активност представљају један од кључних механизма преко којих организам одговара на тренинг стимулус и обезбеђује дугорочна физиолошка побољшања. Ендокрини систем делује као посредник између физичког оптерећења и ефеката на мишићно-скелетни, метаболички и нервни систем, при чему се хормони могу сматрати „сигналним молекулима“ који регулишу равнотежу између анаболичких и катаболичких процеса (Kraemer & Ratamess, 2005; Vidic et al., 2021).

Истраживања показују да различите врсте вежбања – од аеробног до резистентног тренинга – доводе до специфичних хормонских одговора. На пример, високоинтензивни резистентни тренинг узрокује повећање секреције тестостерона, хормона раста и инсулину сличног фактора раста (IGF-1), док дуготрајни аеробни напори углавном утичу на повишење кортизола и катехоламина (Crewther, Cook, Cardinale, Weatherby, & Lowe, 2011; Vidic et al., 2021). Ови одговори нису униформни, већ се разликују у зависности од више фактора – од биолошких карактеристика појединца, преко начина живота, до услова у којима се тренинг спроводи.

Управо зато је од суштинске важности анализирати факторе који модулишу хормонске адаптације, јер они у великој мери одређују ефикасност програма тренинга и могућности за оптимизацију спортских перформанси. Међу најзначајнијим факторима истичу се: пол и старосна доб, исхрана и суплементација, сан и опоравак, као и индивидуалне разлике условљене генетским карактеристикама.

5.1. Пол и узраст

Пол представља један од најјачих биолошких предиктора ендокриних одговора на физичко оптерећење. Мужјаци и женке различитих врста животиња, па и људи, поседују битно различите хормонске профиле. Код мушкараца доминира тестостерон, кључни андрогени хормон који утиче на развој мишићне масе, снаге и агресивности у такмичарском контексту. Истраживања показују да интензиван резистентни тренинг доводи до акутног повећања тестостерона код мушкараца, што је директно повезано са повећаном синтезом протеина у мишићним ћелијама и дугорочним хипертрофијским

адаптацијама (Vingren, Kraemer, Ratamess, Anderson, Volek, & Maresh, 2010; Vidic et al., 2021).

Жене, с друге стране, имају вишеструко ниже базалне нивое тестостерона, али зато естрогени и прогестерон играју доминантну улогу у њиховим ендокриним одговорима. Естроген показује протективно дејство на мишићна влакна, смањује оксидативни стрес и подстиче коришћење липида као извора енергије, што може објаснити разлике у замору и метаболичким адаптацијама између полова (Crewther et al., 2011). Прогестерон, нарочито у лутеалној фази менструалног циклуса, може смањити анаболички потенцијал и утицати на нешто слабије хормонске одговоре на интензиван тренинг. Ови ритмични хормонски циклуси чине да се жене често суочавају са варијацијама у перформансама и адаптацијама у зависности од фазе циклуса, што представља важан параметар у планирању програма тренинга (Hackney, 2020; Vidic et al., 2021).

Узраст или старосна доб је други кључни биолошки фактор. Током младости, ниво анаболичких хормона – пре свега тестостерона и хормона раста – налази се на највишем нивоу, што омогућава брз напредак у снази и мишићној маси. Међутим, са годинама долази до постепеног опадања њихових концентрација. Код мушкараца се често описује феномен „андропауза“, односно смањена продукција тестостерона након 40–50 година, што доводи до губитка мишићне масе (саркопенија), повећања масног ткива и слабијег опоравка (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019; Vidic et al., 2021). Код жена, улазак у менопаузу прати драстичан пад естрогена, што носи бројне последице по метаболизам, густину костију и адаптивне механизме на физички напор.

Иако старење доноси пад анаболичког потенцијала, редовна физичка активност може ублажити ове ефекте. Студије показују да вежбање, нарочито тренинг снаге, може стимулисати секрецију тестостерона и хормона раста чак и у старијој популацији, што доводи до побољшања телесне композиције, снаге и функционалне способности (Hackney, 2020; Vidic et al., 2021).

5.2. Исхрана и суплементација

Исхрана представља један од кључних фактора који условљавају хормонске одговоре на физички напор. Адекватан енергетски и нутритивни унос омогућава да ендокрини систем функционише оптимално и да се успостави равнотежа између анаболичких и

катаболичких процеса. Недовољан унос енергије или неадекватна структура исхране могу довести до поремећаја у лучењу хормона, што директно утиче на перформансе и дугорочне адаптације организма на тренинг (Kraemer & Ratamess, 2005).

Угљени хидрати имају посебно важну улогу у регулацији хормонских одговора. Њихов унос утиче на секрецију инсулина, једног од централних анаболичких хормона, који поспешује транспорт глукозе и аминокиселина у ћелије, чиме се подстиче синтеза протеина и гликогена. Истраживања показују да недовољан унос угљених хидрата доводи до повећаног ослобађања кортизола, што може створити хронично катаболичко окружење и успорити регенеративне процесе (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019). С друге стране, адекватна количина угљених хидрата пре, током и након тренинга повезана је са смањењем ослобађања кортизола и ефикаснијим опоравком.

Протеини представљају другу кључну компоненту. Довољан унос протеина, посебно оних богатих есенцијалним аминокиселинама као што је леуцин, има снажан стимулативни ефекат на анаболичке хормоне попут инсулина и хормона раста. Протеини обезбеђују материјал за синтезу нових мишићних протеина, али и посредно утичу на регулисање хормонског статуса током опоравка. Научни докази показују да комбинација уноса угљених хидрата и протеина после тренинга може довести до значајнијег смањења нивоа кортизола и повећања секреције инсулина у односу на унос угљених хидрата самих по себи (Kraemer & Ratamess, 2005).

Масти, иако често запостављене у контексту хормонских одговора, имају суштинску улогу јер учествују у синтези стероидних хормона, укључујући тестостерон, естроген и кортизол. Дијете са ниским садржајем масти често доводе до сниженог нивоа тестостерона код мушкараца, што може негативно утицати на дугорочне адаптације на тренинг снаге (Vingren et al., 2010). Унос омега-3 масних киселина има антиинфламаторно дејство и може позитивно утицати на регулисање кортизола и побољшање опоравка након физичког стреса (Brooks et al., 2019).

Микронутријенти такође имају снажан утицај на ендокрини систем. Недостатак витамина Д повезан је са нижим нивоима тестостерона и смањеном мишићном снагом, док цинк и магнезијум играју улогу кофактора у бројним ензимским реакцијама које регулишу секрецију хормона (Haskney, 2020). У том контексту, правилна исхрана богата витаминима и минералима или њихова суплементација може бити од кључног значаја за одржавање оптималног хормонског статуса.

Када је реч о **суплементацији**, бројни додаци исхрани показују позитивне ефекте на хормонске маркере. Најистраженији је креатин, који не делује директно на хормонску секрецију, али посредно побољшава радне капацитете, што може резултирати већим стимулусом за анаболичке одговоре. Такође, суплементи као што су бета-аланин и кофеин утичу на перформансе и посредно могу утицати на хормонску реактивност кроз промене у нивоу физичког стреса (Crewther et al., 2011).

Важно је нагласити да ефекти исхране и суплементације нису универзални и у великој мери зависе од индивидуалних карактеристика, укључујући пол, старосну доб, генетику и ниво физичке припремљености. Док неки појединци имају снажан анаболички одговор на повећан унос протеина, код других он може бити ограничен генетском осетљивошћу рецептора за хормоне или ефикасношћу ензимских путева (Vingren et al., 2010).

Све наведено показује да је исхрана један од најмодификативнијих фактора у контроли хормонских адаптација. Стога, правилно осмишљене нутритивне стратегије и употреба суплементације представљају значајан алат за оптимизацију хормонских одговора и побољшање спортских перформанси, али и за очување здравља и дугорочне функционалне способности организма.

5.3. Сан и опоравак

Сан и адекватан опоравак представљају кључне факторе у оптимизацији хормонских адаптација на физичко оптерећење. Током сна одвијају се бројни физиолошки процеси који омогућавају регенерацију ткива, синтезу протеина и стабилизацију ендокриног система. Посебно се истичу фазе дубоког сна (нон-REM фаза), током којих долази до појачаног лучења хормона раста – једног од најважнијих анаболичких хормона, који регулише раст и регенерацију мишићног ткива, као и метаболизам липида и угљених хидрата (Kraemer & Ratamess, 2005).

Недостатак сна, било у смислу скраћене дужине или лошег квалитета, доводи до поремећаја у лучењу тестостерона и повећања нивоа кортизола, што резултира катаболичким окружењем у организму. Хронични недовољан сан може довести до смањења мишићне масе, слабијег опоравка након тренинга и повећаног ризика од повреда (Nackney, 2020). Истраживања показују да само једна ноћ скраћеног сна може довести до

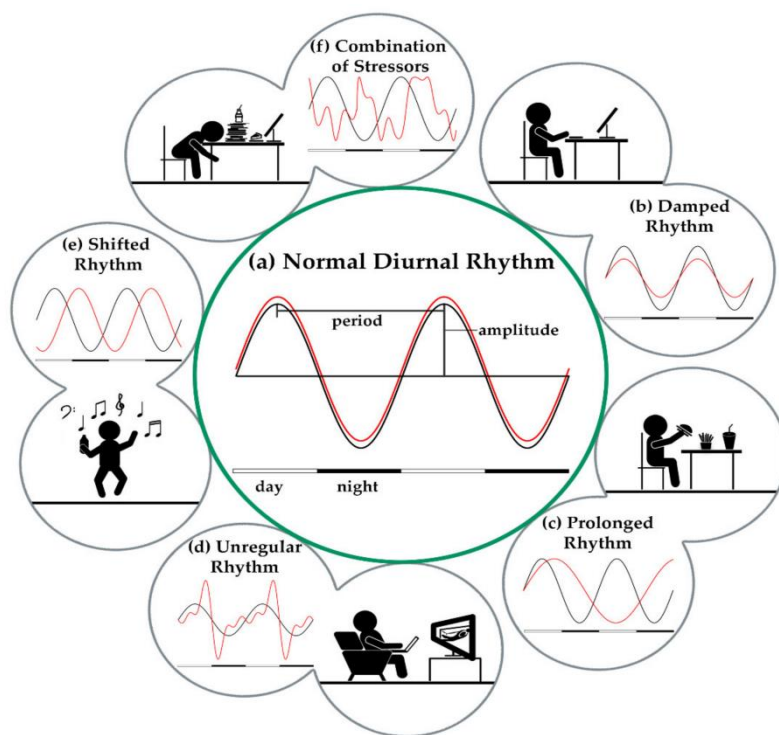
осетног снижења анаболичких хормона и повећања катаболичких, што значајно утиче на перформансе у следећим тренинзима (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

Опоравак након тренинга укључује не само сан, већ и различите стратегије управљања стресом и регенерације. Активни опоравак, који може обухватати лагане аеробне активности, растезање или масажу, показује позитивне ефекте на циркулацију и елиминацију метаболичких отпадака, чиме се смањује хронични стрес на хормонски систем. Поред тога, релаксациони методи, као што су медитација или дисање са контролом, могу снизити ниво кортизола и унапредити хормонску равнотежу (Crewther et al., 2011).

Циркадијални ритмови играју значајну улогу у регулацији ендокриних одговора. Ниво тестостерона код мушкараца и естрогена код жена варира током дана, а највиши је током раних јутарњих сати. Промена ових ритмова, као што је код радника у сменама или при честим путовањима са променом временских зона, може довести до нарушавања лучења хормона и смањења адаптације на тренинг (Hackney, 2020).

Редован и квалитетан сан такође има значајан утицај на психолошки аспект адаптације. Недостатак сна повећава перципирани стрес, смањује мотивацију за тренинг и утиче на когнитивне функције, што индиректно утиче на хормонски статус. Поред тога, комбинација сна и исхране у процесу опоравка игра критичну улогу у одржавању инсулинске осетљивости, нормализацији кортизола и одржавању анаболичког окружења у мишићима (Vingren et al., 2010).

Све ово указује да је сан један од најмодификативнијих и истовремено најчешће запостављених фактора у контроли хормонских адаптација. Оптимизација сна, у комбинацији са адекватним опоравком и релаксацијом, представља ефикасан алат за повећање анаболичког потенцијала, смањење катаболичких ефеката и укупно побољшање спортских перформанси.



Слика 8. Утицај исхране, физичке активности и квалитета сна на хормонски баланс и адаптација организма. (Haupt et al., 2021)

5.4. Индивидуалне разлике и генетски фактори

Индивидуалне разлике у хормонским адаптацијама представљају један од најкомплекснијих аспеката у физиологији тренинга. Иако су тренинг, исхрана и опоравак основни модификатори ендокриног одговора, сваки појединац показује специфичан одговор на исти стимулус због генетских и индивидуалних варијабли. Генетска предиспозиција одређује базалне нивое анаболичких и катаболичких хормона, ефикасност рецептора за стероидне хормоне, као и потенцијал за синтезу протеина у мишићима (Kraemer & Ratamess, 2005).

Један од најистраженијих генетских механизма односи се на полиморфизме у гену за андрогени рецептор (AR). Ови полиморфизми могу значајно утицати на осетљивост мишићних и неких других ткива на тестостерон. Особе са одређеним варијантама AR гена могу имати већу мишићну хипертрофију и снажнији анаболички одговор на исте дозе тренинга у поређењу са појединцима који носе мање осетљиве варијанте (Vingren et al., 2010).

Поред стероидних хормона, генетски фактори утичу и на секрецију хормона раста, IGF-1 и кортизола. На пример, одређени полиморфизми у генима који кодирају ензиме укључене у метаболизам стероида могу модификовати брзину конверзије прекурсора у активне хормоне, што се одражава на индивидуалне разлике у адаптацији на тренинг (Crewther et al., 2011).

Индивидуалне варијације такође укључују разлике у одговору на исхрану, опоравак и психолошки стрес. Неки појединци могу показати снажан анаболички одговор чак и при релативно ниском уносу протеина, док други могу имати ограничен одговор због варијабилности у ензимским и рецепторским системима. Слично, варијације у циркадијалним ритмовима и осетљивости на стрес утичу на хормонске одговоре кортизола и адреналина, што додатно модификује адаптације на тренинг (Hackney, 2020).

Разумевање ових индивидуалних разлика је од кључне важности за персонализовани приступ тренингу. Студије показују да програми који узимају у обзир генетску предиспозицију, пол, старосну доб, ниво физичке припремљености и начин живота могу значајно побољшати хормонске адаптације и убрзати постизање спортских резултата. Према томе, индивидуализовани приступ није само препорука већ и неопходност за оптимизацију ендокриног и физиолошког потенцијала појединца (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

Укратко, индивидуалне разлике и генетски фактори објашњавају зашто два појединца која спроводе идентичан тренинг могу имати значајно различите резултате у хормонским адаптацијама. Примењивање персонализованих стратегија тренинга, исхране и опоравка омогућава да се максимализује потенцијал сваког појединца, уз истовремено смањење ризика од повреда и хроничног стреса.

6. ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА ЗА КОНДИЦИОНИ ТРЕНИНГ

Примена знања о хормонским одговорима на физичко оптерећење има значајан утицај на кондициони рад и планирање тренинга. Разумевање како различити фактори – као што су пол, старост, исхрана, сан и индивидуалне генетске варијанте – модификују хормонске адаптације омогућава тренерима и спортистима да оптимизују програме тренинга, смање ризик од претренираности и унапреде спортске перформансе (Kraemer & Ratamess, 2005).

Кључни циљ практичних импликација је да се постигне равнотежа између стимулуса и опоравка, како би се максимализовао анаболички одговор организма и смањили негативни ефекти хроничног стреса. У овом контексту, кондициони рад више није само скуп вежби за повећање снаге и издржљивости, већ интегрисани процес који комбинује физиологију, ендокринологију и индивидуализовани приступ (Crewther et al., 2011).

6.1. Планирање и програмирање тренинга у складу са хормонским одговорима

Планирање тренинга у складу са хормонским одговорима подразумева прилагођавање интензитета, волумена и фреквенције вежби тако да се оптимизује анаболички потенцијал, а минимизује хронични катаболички стрес. Истраживања показују да високоинтензивни резистентни тренинг стимулише акутно повећање тестостерона и хормона раста, што подстиче синтезу мишићних протеина и адаптације снаге и мишићне масе (Vingren et al., 2010).

За жене, фазе менструалног циклуса могу утицати на анаболички потенцијал и адаптације на тренинг, што захтева прилагођавање програма тренинга у складу са хормонским варијацијама (Nackney, 2020).

Волумен и учесталост тренинга морају бити пажљиво планирани. Превелик обим или интензитет може довести до хроничног повећања кортизола, смањења тестостерона и хормона раста, те успорити адаптације. Периодизација тренинга, која комбинује недеље повећаног и смањеног оптерећења, омогућава хормонском систему да се регенерише и одржи оптималан анаболички статус (Kraemer & Ratamess, 2005; Crewther et al., 2011).

Оптимизација хормонских одговора укључује и усклађивање микро- и макроцикала, где кратки микроцикли служе за стимулисање специфичних адаптација, а дугорочни

макроцикли планирају фазе повећаног оптерећења и фазе релативног одмора. Ово обезбеђује дугорочну равнотежу између анаболичког и катаболичког окружења у организму, смањује ризик од претренираности и доприноси бољим резултатима у кондиционом раду (Crewther et al., 2011).

6.2. Превенција претренираности и хормонског дисбаланса

Претренираност представља стање хроничног физичког и психичког стреса које настаје када оптерећење прелази капацитет организма за регенерацију. Један од најзначајнијих биомаркера претренираности је нарушен хормонски статус, нарочито смањена продукција анаболичких хормона као што су тестостерон и хормон раста, и повећан ниво катаболичког хормона кортизола (Kraemer & Ratamess, 2005). Хормонски дисбаланс негативно утиче на синтезу мишићних протеина, имунолошку функцију и опоравак, што доводи до смањења перформанси и повећаног ризика од повреда.

Превенција претренираности подразумева интегрисани приступ који укључује контролу оптерећења, адекватну исхрану, квалитетан сан и одговарајући опоравак. Пажљиво планирање тренинга, са периодизацијом интензитета и волумена, омогућава одржавање оптималног хормонског окружења. Научни радови показују да редовна евалуација хормонских маркера, као што су кортизол, тестостерон и соотношение тестостерон/кортизол, може послужити као индикатор адаптације организма и помоћи у превенцији преоптерећења (Crewther et al., 2011; Vingren et al., 2010).

Поред физичког оптерећења, психолошки стрес, неправилан сан и неадекватна исхрана могу појачати катаболички одговор и убрзати настанак хормонског дисбаланса. На пример, хронични недостатак сна доводи до смањења тестостерона и повећања кортизола, што ствара катаболичко окружење и смањује ефекте тренинга (Nackney, 2020). Слично, негативан психолошки стрес може повећати ниво кортизола и снижавати анаболичке хормоне, што указује на потребу за интеграцијом стратегија управљања стресом у план кондиционог рада.

Индивидуализовани приступ у превенцији претренираности подразумева праћење реакција спортиста на тренинг, уважавање њихових биолошких и генетских варијабли, и прилагођавање оптерећења у складу са хормонским одговорима. Тиме се омогућава оптимизација адаптација, смањење ризика од хроничног катаболизма и побољшање

перформанси, уз истовремено очување здравља спортиста (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

6.3. Побољшање спортских перформанси

Разумевање хормонских адаптација и њихова примена у кондиционом раду отвара нове перспективе за унапређење спортских перформанси. Познавање индивидуалних варијација у хормонским одговорима омогућава персонализовани приступ тренингу, који максимизује анаболички потенцијал, смањује катаболички ефекат и убрзава адаптације на физичко оптерећење (Kraemer & Ratamess, 2005).

Једна од перспективних стратегија је **персонализована периодизација тренинга**, која узима у обзир хормонске ритмове, фазе менструалног циклуса код жена, старосну доб, генетске факторе и тренутни ниво кондиције. Такви прилагођени програми омогућавају оптимизацију анаболичких и катаболичких процеса, повећање мишићне снаге и издржљивости, и побољшање регенеративних способности организма (Crewther et al., 2011).

Технологије праћења хормонских маркера, као што су тестостерон, кортизол, хормон раста и инсулински фактор раста (IGF-1), омогућавају тренерима да систематски анализирају адаптације спортиста и идентификују ризике од преоптерећења. Праћење ових параметара може довести до бољег балансирања тренинг оптерећења и опоравка, као и до раног уочавања хормонских дисбаланса који могу угрозити перформансе (Vingren et al., 2010).

Перспективе за унапређење перформанси такође укључују интеграцију **исхране, суплементације и стратегија опоравка** у програм тренинга. Правилан унос макронутријената и микронутријената, оптимизација сна и контрола психолошког стреса директно утичу на хормонски статус, чиме се повећава потенцијал за побољшање резултата. Истраживања показују да спортеки резултати могу бити значајно унапређени када се сви ови фактори координирано планирају, уз стално праћење индивидуалних реакција организма (Hackney, 2020; Brooks, Fahey, & Baldwin, 2019).

Поред тренутних стратегија, будући развој у области ендокринологије и спортске физиологије отвара могућности за примену **биомаркера и генетских анализа** за још прецизнију персонализацију тренинга. Ово укључује идентификацију генетских

предиспозиција за анаболичке одговоре, варијабилност рецептора на хормоне и осетљивост на катаболички стрес. Таква знања могу довести до креирања тренинг програма који максимално искоришћава индивидуални потенцијал спортиста, уз минималан ризик од повреда и хормонских поремећаја (Crewther et al., 2011).

Укратко, перспективе за унапређење спортских перформанси леже у интеграцији знања о хормонским адаптацијама у све аспекте кондиционог рада, са нагласком на индивидуализовани приступ, континуирано праћење хормонских маркера и оптимизацију опоравка и исхране. Ово омогућава спортистима и тренерима да постигну дугорочне и одрживе резултате, уз очување здравља и функционалних капацитета организма.

7. ДИСКУСИЈА

Хормонске адаптације на различите облике кондиционог тренинга представљају сложен процес који се одвија на више нивоа, укључујући молекуларне, ћелијске и системске механизме. Ендокрини систем функционише као централни регулатор хомеостазе и адаптације организма на физички стрес, а хормонски одговори служе као критичан медијатор између спољних стимулуса и интерних физиолошких промена (Hackney, 2020). Акутне хормонске реакције на тренинг, као што су повећање анаболичких хормона - тестостерона, хормона раста и ИГФ-1 - и катаболичких хормона као што су кортизол и катехоламини, представљају први корак ка активирању механизма синтезе протеина, метаболизма енергије и мишићне адаптације (Kraemer & Ratamess, 2005). Ови краткорочни одговори су временски ограничени, али њихова учестала и правилна активација кроз систематски тренинг доводи до хроничних адаптација које значајно утичу на перформансе и капацитет организма.

Различити облици тренинга покрећу специфичне хормонске профиле који се могу приписати различитим физиолошким захтевима. Тренинг снаге и хипертрофије карактерише акутно повећање анаболичких хормона што директно стимулише протеинску синтезу и хипертрофију мишића (Vingren et al., 2010). Хормонски одговор на тренинг издржљивости је специфичан по томе што укључује повећање катаболичких хормона, као што су кортизол и адреналин, који подстичу повећање енергетских резерви и капацитета аеробног метаболизма (Hackney, 2020). Експлозивни и комбиновани облици тренинга, као што су плиометријски рад и олимпијска дизања, активирају и анаболичке и катаболичке хормоне, а адаптациони одговор се манифестује кроз побољшање снаге, брзине и експлозивности, што је у складу са принципима специфичности тренинга (Crewther et al., 2011).

Фактори као што су пол, старосна доб, исхрана, квалитет сна и генетске карактеристике значајно модификују хормонски одговор на тренинг. Тако, мушкарци генерално показују већу акутну продукцију тестостерона као одговор на тренинг снаге него жене, док промене настале током старења смањују реактивност ендокриног система, што може утицати на ефикасност адаптација и захтевати прилагођен тренинг (Brooks et al., 2019). Поред тога, нутритивни статус, суплементација и адекватан сан доприносе оптимизацији анаболичких процеса и смањењу катаболичких ефеката (Hackney, 2020).

Иако постоји велики број студија које описују акутне и хроничне ефекте тренинга на хормонске нивое, постоје одређена ограничења у литератури. Многи експерименти су спроведени на ограниченим популацијама, најчешће на млађим мушкарцима, док су подаци о женама, старијим особама и професионалним спортистима и даље ограничени. Дугорочни ефекти специфичних тренинга на хормонску регулацију и њихов утицај на спортске перформансе захтевају додатна истраживања. Такође, мултифакторски утицаји, као што су интеракција различитих типова тренинга, нутритивних интервенција и генетских варијабли, представљају важан правац будућих студија које би омогућиле индивидуализованији приступ тренингу заснован на хормонском профилу (Crewther et al., 2011; Vingren et al., 2010).

8. ЗАКЉУЧАК

Хормонске адаптације представљају основу физиолошких промена које омогућавају повећање спортских перформанси и оптимизацију функционалних способности организма. Анболички и катаболички хормони делују као сигнални механизми који регулишу синтезу мишића, енергетски метаболизам и процесе опоравка. Различити облици тренинга изазивају различите хормонске одговоре - тренинг снаге и хипертрофије стимулише анболичке механизме, тренинг издржљивости активира катаболичке процесе, а комбиновани и експлозивни тренинг доводе до интегрисаних адаптација које повећавају снагу, брзину и издржљивост.

Индивидуални фактори као што су пол, старост, нутритивни статус, сан и генетика значајно утичу на хормонски одговор и морају бити узети у обзир при планирању тренинга. Праћење хормонских одговора омогућава превенцију претренираности, уравнотежење хормонских нивоа и оптимизацију спортских резултата.

Иако су доступна бројна теоријска сазнања о ефектима тренинга на ендокрине функције, даља истраживања су неопходна за прецизно дефинисање индивидуализованих програма тренинга. Будуће студије требало би да интегришу различите типове тренинга, нутритивне интервенције и генетичке варијабле, како би се омогућила максимална оптимизација хормонског одговора и дугорочно очување здравља спортиста.

9. ЛИТЕРАТУРА

- Стефановић, Ђ., Јаковљевић, С., & Јанковић, Н. (2010). *Технологија припреме спортиста*. Факултет спорта и физичког васпитања.
- Adrenaline. (2025, March 2). In *Wikipedia*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Adrenaline>
- Brooks, G.A., Fahey, T.D., & Baldwin, K.M. (2019). *Hormones, metabolism and the benefits of exercise*.
- Crewther, B. T., Cook, C. J., Cardinale, M., Weatherby, R. P., & Lowe, T. (2011). Two emerging concepts for elite athletes: the short-term effects of testosterone and cortisol on the neuromuscular system and the dose-response training role of these endogenous hormones. *Sports Medicine*, 41(2)
- Ge, L., Liu, S., Rubin, L., & Zheng, W. H. (2022). *Research progress on neuroprotection of insulin-like growth factor-1 towards glutamate-induced neurotoxicity*. ResearchGate.
- Hackney, A. C. (2020). Stress and the neuroendocrine system: the role of exercise as a stressor and modifier of stress. *Expert Review of Endocrinology & Metabolism*, 15(6), 395-402.
- Haupt, S., Eckstein, M. L., Wolf, A., Zimmer, R. T., Wachsmuth, N. B., & Moser, O. (2021). *Eat, Train, Sleep — Interactions of intermittent fasting, exercise and circadian rhythm*. *Biomolecules*, 11(4), 516. <https://doi.org/10.3390/biom11040516>
- Insulin-like growth factor 1. (2025, January 10). In *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Insulin-like_growth_factor_1
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Medicine*, 35(4), 339-361.
- Noradrenaline. (2025, March 5). In *Wikipedia*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Noradrenaline>
- Tashko, G. (2023, September 18). *Insulin: Its role in glucose, lipids, and protein metabolism*. Gerti Tashko, MD. <https://gertitashkomd.com/the-role-of-insulin/>
- Testosterone. (2025, February 15). In *Wikipedia*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Testosterone>

- Vingren, J. L., Kraemer, W. J., Ratamess, N. A., Anderson, J. M., Volek, J. S., & Maresh, C. M. (2010). Testosterone physiology in resistance exercise and training: the up-stream regulatory elements. *Sports Medicine*, 40(12), 1037-1053.
- Vidic, V., Ilic, V., Toskic, L., Jankovic, N., & Ugarkovic, D. (2021). *Effects of calorie restricted low carbohydrate high fat ketogenic vs. non-ketogenic diet on strength, body-composition, hormonal and lipid profile in trained middle-aged men*. *Clinical Nutrition journal*. Faculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade; Faculty of Sport and Physical Education, University in Pristina Kosovska Mitrovica.