

## НАСТАВНИ МАТЕРИЈАЛИ ЗА ПРЕДМЕТ ОСНОВЕ ФИЗИОЛОГИЈЕ СПОРТА

- Наставни материјал Вам је прослеђен зато што се уписани на курс који организује Факултет спорта и физичког васпитања Универзитета у Нишу.
- Наставни материјал је део уџбеника: Радовановић, Д. (2020). *Физиологија за студенте Факултета спорта и физичког васпитања, треће измењено и допуњено издање*. Ниш: Факултет спорта и физичког васпитања.
- Свако копирање, умножавање, објављивање и дистрибуирање целог или делова овог наставног материјала, без обзира на разлоге за такво дело, забрањено је јер представља повреду ауторског права и не сме бити урађено без писане дозволе аутора.

## **Анаеробни биоенергетски капацитет**

Анаеробни капацитет означава способност добијања енергије без присуства кисеоника, искључиво из анаеробних извора. Анаеробни извори енергије (аденозин трифосфат, креатин фосфат и глукоза) обезбеђују велику количину енергије у кратком временском периоду, омогућавају краткотрајну интензивну физичку активност и представљају основу испољене мишићне снаге и брзине.

Синтеза АТП-а путем фосфагеног (АТП–КФ) енергетског система и система гликоген–млечна киселина (гликолитички систем) одвија се без истовремене потрошње кисеоника. Због тога се овај начин добијања енергије назива анаеробни пут, а наведени извори енергије називају се анаеробни извори. Анаеробни извори и начин добијања енергије чине анаеробни биоенергетски систем.

Максимална количина АТП-а у мишићу може обезбедити максималну мишићну контракцију током периода не дужег од 1–2 s. Количина креатинфосфата је три до осам пута већа, али се чак и употребом целог креатинфосфата време максималне мишићне контракције продужава за још 5–10 s. Посебна карактеристика преноса енергија са креатинфосфата на АТП је одвијање у делићу секунде. Због тога, сва енергија депонована у мишићу у облику креатинфосфата тренутно је употребљива за мишићну контракцију, баш као и енергија депонована у АТП-у.

Када су за мишићну контракцију у току дужег периода потребне веће количине АТП-а, анаеробна гликолиза може да послужи као брз извор енергије. Њена брзина једнака је око половине брзине којом ради фосфагени систем. У наставку рада који у току 8–10 s обезбеђује фосфагени систем, под оптималним условима, систем гликоген–млечна киселина може да обезбеди енергију за још додатних 80–100 s (1,3–1,6 min) максималног мишићног рада. Током анаеробног метаболизма највећа количина гликогена бива претворена у млечну киселину због чега се овај енергетски извор означава као систем гликоген–млечна киселина (гликолитички систем). Карактеристика система гликоген – млечна киселина је да се молекули АТП-а синтетишу 2,5 пута брже него у току оксидативног метаболизма у митохондријама. Резултат описаног процеса је смањење концентрације гликогена за време изразите активности и пораст концентрације млечне киселине у крви.

Анаеробни извори енергије омогућавају веома интензивну, али кратку физичку активност. Такође, код физичких активности које дуже трају, анаеробне способности су важне током поједих периода такве активности, а у неким случајевима могу имати и пресудни утицај. Финиш у атлетским тркама на средње и дуге стазе, као и експлозивни продори у фудбалу или кошарци, базирани су на анаеробном капацитету.

Анаеробни капацитет је у малој мери подложен егзогеним утицајима будући да наслеђе са 74–86% утиче на коначне вредности које се могу достићи током живота. Због тога је правилна селекција спортиста од непроцењиве важности у спортовима у којима доминира анаеробна потрошња енергије.

Иако сваки биоенергетски систем има посебне карактеристике, ни у једном моменту ни један енергетски систем сам не обезбеђује целокупну потребну енергију. Због тога, анаеробни и аеробни капацитет представљају само делове јединственог биоенергетског капацитета организма.

## Аеробни биоенергетски капацитет

Аеробни извори и начин добијања енергије чине аеробни биоенергетски систем. Аеробни извори енергије обезбеђују велику количину енергије током дуготрајне физичке активности и представљају основу издржљивости током физичких активности. Синтеза АТП-а из различитих хранљивих материја (угљени хидрати, масти, беланчевине) уз присуство кисеоника одвија се спорим хемијским процесима у ћелијским митохондријама. Због тога се овај начин добијања енергије назива аеробни пут, а наведени извори енергије називају се аеробни извори.

Плато потрошње кисеоника представља равнотежно стање у односу захтева организма за кисеоником, могућности његовог допремања ћелијама (пре свега радне мускулатуре) и нивоа физичке активности. Равнотежно или стабилно стање (*steadystate*) је знак да ниво физиолошке функције одговара нивоу физичког оптерећења. Постоје две врсте равнотежног (стабилног) стања: право и лажно.

Право равнотежно (стабилно) стање је сваки стабилни ниво физиолошке функције који у потпуности задовољава потребе датог оптерећења. Право равнотежно (стабилно) стање се може успоставити на свим нивоима субмаксималног оптерећења.

Лажно равнотежно (стабилно) стање је максимални могући ниво неког физиолошког параметра. У кратком временском периоду се чини да задовољава потребе организма на одређеном нивоу оптерећења, али то није тако јер се функција не може подићи на виши ниво. Рад у режиму правог равнотежног (стабилног) стања је могућ у дужем временском периоду, док ће лажно, с обзиром да је максимално, трајати знатно краће.

Када током физичке активности кисеонички захтев у организму постане већи од максималних могућности за допремање кисеоника настаје кисеонички дуг. У том случају анаеробни процеси постају интезивнији од аеробних што доводи до стварања великих количина млечне киселине, појаве замора и прекида физичке активности.

При престанку физичке активности енергетска потрошња се смањује све до вредности базалног метаболизма. Међутим, потрошња кисеоника ( $O_2$ ) се одржава на високом нивоу све док се не одстрани нагомилана количина млечне киселине из организма, односно док се не надокнади кисеонички дуг. Период враћања кисеоничког дуга, при чему се  $1/5$  створене млечне киселине метаболише до  $CO_2$  и  $H_2O$  а  $4/5$  ресинтетише у глукозу, назива се периодом опоравка. Реконверзија млечне киселине у глукозу углавном се дешава у ћелијама јетре, а затим се глукоза транспортује назад у мишић, где се поново складишти у виду гликогена.

Период опоравка карактерише смањење потрошње кисеоника до вредности које постоје у стању мировања. Процес смањења потрошње кисеоника одвија се кроз три сукцесивне фазе: непромењена вредност, експоненцијални пад и таласање параметара.

Фаза непромењене вредности траје веома кратко. Неколико секунди након оптерећења нема разлике у вредности потрошње  $O_2$  у односу на ону која је била на крају оптерећења. Ова фаза указује на инерност читавог система.

Експоненцијални пад потрошње  $O_2$  означава период где је свака наредна вредност мања од претходне. Она траје неколико минута и краћа је код спортиста него код физички неактивних особа.

Таласање параметара означава да се вредност потрошње  $O_2$  у одређеним моментима повећава и потом опет смањује. Ово осциловање може да траје сатима са тенденцијом опадања док се не врати на почетне вредности.

Значајну особеност процеса опоравка представља неистовремено враћање различитих показатеља на почетни ниво (потрошња  $O_2$ , плућна вентилација, фреквенција срца, вредност крвног притиска, температура коже итд.). Управо зато, не умањујући значај фреквенције срца као широко доступног показатеља који се користи за праћење интезитета физичке активности, одређивање фреквенције срца не може служити као одређујући критеријум спремности за поновна оптерећења. Минутна вентилација дисања и потрошња  $O_2$  су знатно поузданији параметри физичке (радне) способности у периоду опоравка.

### **Промене у организму током физичке активности различитог интезитета**

Током физичких активности умереног интезитета током првих неколико минута долази до убрзања срчаног рада, циркулације и дисања што доводи до успостављања равнотежног стања, које се одржава током целог трајања активности. Не долази до стварања значајног кисеоничког дуга, настаје умерени пораст млечне киселине, нема значајнијих промена у биохемијском саставу крви и мокраће. Због могућег дуготрајног одвијања утрошак енергије је врло велики па је период опоравка односно успостављања радне способности дуг (24–48 сати).

Током физичких активности великог интезитета претходно описане промене су још израженије. Потрошња кисеоника нагло расте током првих неколико минута активности све до максималне вредности, и одржава се до краја рада. Не може се успоставити право равнотежно стање, вредности срчане фреквенције и плућне вентилације достижу максималне вредности, долази до нагомилавања лактата и смањења рН вредности уз велику продукцију топлоте. (до  $20 \text{ cal} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Период опоравка односно успостављања радне способности је 1–5 сати.

Током физичких активности максималног интезитета промене у раду срца и дисању немају времена да се развију јер се активност завршава током неколико секунди до два минута. Промене у организму достижу максимум тек по завршетку физичке активности, зато су краткотрајне и опоравак се завршава за неколико минута до једног часа.

Током вежби снаге долази до максималне мобилизације мишића у току кратког временског интервала (неколико секунди), уз утрошак велике количине енергије. Промене у организму настају тек по завршетку активности и праћене су убрзањем срчаног рада и повећаном вентилацијом, док је период опоравка кратак. Код вежби снаге праћених напињањем настају знатне промене у дисању и циркулацији. Напињање се јавља код активности где грудни кош треба да буде фиксиран тј. ослонац (дизања терета, рвање, неке вежбе на справама). У фиксирању грудног коша учествују мишићи издисачи и трбушни мишићи. Затварањем гласних жица и спречавањем издисаја настаје повећање интраторакалног притиска што компримује крвне судове плућа и спречава нормалну циркулацију. Јавља се набрекlost вена врата и лица, јер крв из њих не може да оде у грудну дупљу и срце због великог притиска у плућима.

Код вежби са статичким напорима мишићи се претежно контрахују по типу изометријске контракције. Дуготрајан напон мишића отежава нормалну циркулацију, претежно се одвијају анаеробни процеси и долази до гомилања киселих продуката и бржег замора мишића. Тек по престанку активности развијају се компензаторни механизми који повећавају достављање кисеоника. Енергетска потрошња током статичке контракције је увек мања у односу на енергетску потрошњу током динамичке контракције.

### **Кардиоваскуларни систем и физичка активност**

Све промене које се дешавају у кардиоваскуларном систему приликом физичке активности имају задатак да осигурају довољну количину кисеоника и хранљивих материја органима потрошачима (скелетни мишићи, срце) и да их од стране продукте убрзаних метаболичких процеса (угљен-диоксид, млечну киселину и др.). Срце и крвни судови ово постижу значајним увећањем волумена протекле крви кроз радне органе, што омогућују и сами крвни судови који се шире (вазодилатирају), чиме се смањује отпор протицању крви. Повећано снабдевање кисеоником за време напора у мишићима није условљено само повећањем протока крви већ и степеном искоришћења кисеоника из јединице крви која том приликом протиче кроз мишиће. У прилог наведеном говори велики пад парцијалног притиска у мишићном ткиву, што увећава артерио–венску разлику кисеоника за 2-3 пута и скретање криве дисоцијације кисеоника у десно (због пораста концентрације угљен-диоксида и водоникових јона у мишићном ткиву). Код утренираних особа ове појаве су још израженије. Важно је поменути да је количина протекле крви при напору већа у мишићима код нетренираних особа, али је зато степен искоришћености достављеног кисеоника много већи код утренираних особа. Ова сазнања дају могућност да се на основу степена искоришћења (утилизације) кисеоника може приближно одредити степен прилагођености организма на велике напоре.

Срчани мишић (миокард) енергију добија аеробним механизмима, чак преузима и користи велику количину лактата у енергетске сврхе. Уз повећање контрактилности, условљене различитим факторима значајно се увећава и прилив крви у срце током дијастоле што сходно Старлинговом (*Starling*) закону увећава ударни и минутни волумен срца. Ако се један од ових фактора промени, смањује се ударни и минутни волумен као што је случај код јаких статичких контракција (нпр. дизање тегова) када се смањи венски прилив крви. Повећани прилив венске крви и други фактори условљавају повећање срчане фреквенције. Фреквенција изнад 180 откуцаја за нетрениране и изнад 220 за добро утрениране смањује минутни волумен и отежава прехрану срчаног мишића. Код толиких вредности срчане фреквенције, трајање дијастоле је знатно скраћено. Како се миокард једино може исхранити током дијастоле, долази до исхемије и развоја патолошких процеса.

Фреквенција срца се мења током физичке активности пропорционално интензитету и трајању физичке активности. То значи да је фреквенција срца већа што је интензитет већи и трајање дуже. Промена фреквенције тече на тај начин да је њен пораст највећи на почетку физичке активности (иницијална реакција), затим се постепено смањују промене (почетна стабилизација) до појаве стабилног (равнотежног) стања. По престанку физичке активности, током периода опоравка, долази до постепеног враћања фреквенције срца

на вредности које постоје у стању мировања. На почетку опоравка долази до бржег пада фреквенције у односу на каснији период.

При повећаном минутном волумену срца, периферна васкуларна адаптација омогућава веће и адекватније снабдевање крвљу у скелетним мишићима. Већи проток крви у скелетним мишићима уочава се непосредно пре почетка оптерећења, за време и након оптерећења. Овакав проток условљавају многи локални фактори: локално повећана температура и  $\text{CO}_2$ , мањак  $\text{O}_2$  и пораст рН, као и други метаболити попут млечне киселине. Набројани фактори доприносе бољем протоку крви делујући на активност прекапиларних сфинктера, ширење капилара и смањење отпора при протоку крви.

После престанка оптерећења сви параметри кардиоваскуларног система се враћају на вредности у мировању или неко ново функционално стање. Време потребно да се нормализују функције зависи од интезитета физичке активности и спремности организма, и креће се од неколико минута до неколико сати од престанка физичке активности.

### **Респираторни систем и физичка активност**

Приликом физичке активности умереног до средњег интезитета плућна вентилација се повећава линеарно са потрошњом кисеоника, док је код физичке активности субмаксималног интезитета повећање вентилације израженије у односу на потрошњу кисеоника. Вредности максималне вентилације могу достићи  $180 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  код мушкараца, и  $130 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  код жена. Када се плућна вентилација (VE) изрази у односу на величину потрошње кисеоника ( $\text{VO}_2$ ) добија се вентилаторни еквивалент  $\text{VE} / \text{VO}_2$ . Вредности се крећу од 20 до 25 L удахнутог ваздуха за литар примљеног односно потрошеног кисеоника. Током физичке активности ван равнотежног стања, вентилација расте диспропорционално са потрошњом кисеоника, док вентилаторни еквивалент може достићи 35-40 L. Код деце млађе од 10 година, вредности су око 30 L током физичке активности мањег интезитета, до 40 L током активности максималног интезитета. Када се парцијални притисак атмосферског кисеоника смањи на великим надморским висинама, вентилаторни еквивалент расте како би компензовао хипоксичне услове.

Током физичке активности умереног интезитета првенствено се повећава вредност респираторног волумена у односу на фреквенцију дисања. Код физичке активности од средњег према максималном интезитету респираторни волумен расте до 50% вредности максималног капацитета. Фреквенција дисања током активности максималног интезитета износи: код деце старости 5 година око  $70 \text{ удаха} \cdot \text{min}^{-1}$ , код деце старости 12 година око  $55 \text{ удаха} \cdot \text{min}^{-1}$ , а код особа старости 25 година  $40\text{--}45 \text{ удаха} \cdot \text{min}^{-1}$ . Код добро утренираних спортиста, са великим вредностима аеробног капацитета, фреквенција дисања достиже око  $60 \text{ удаха} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Као последица тренинга издржљивости респираторни волумен се повећава док се фреквенција дисања не мења значајније, тако да између удисаја ваздух остаје дуже у плућима. Ово резултује екстракцијом веће количине кисеоника из удахнутог ваздуха. Издахнути ваздух утренираних спортиста садржи само 14–15% кисеоника током активности субмаксималног интезитета, док издахнути ваздух нетренираних особа на истом нивоу оптерећења садржи око 18% кисеоника. Због тога нетрениране особе морају да

вентилацијом унесу пропорционално више ваздуха за исту потрошњу кисеоника. Наведене чињенице добијају на значају код дужег трајања активности већег интензитета (исцрпљујуће активности), када нижа фреквенција дисања смањује ефекте замора на дисајну мускулатуру и дозвољава допремање додатних количина кисеоника радној мускулатури.

Аеробни тренинг такође доводи до промена у плућној вентилацији током физичке активности максималног интензитета. Максимални вентилаторни капацитет расте са повећањем максималне потрошње кисеоника. Ово је очекиван одговор, будући да је повећање максималне потрошње резултат повећаних потреба за кисеоником и повећане продукције  $\text{CO}_2$  који се мора елиминисати кроз повећану алвеоларну вентилацију.

Промене плућних волумена и капацитета дешавају се након акутне физичке активности. Након високоинтензивних и краткотрајних („супрамаксималних“) физичких активности код појединих спортиста, посебно веслача, могу да се јаве дисајне сметње као штучи кашаљ са искашљавањем (експекторацијом) и осећај недостатка ваздуха (диспнеја). Кашаљ може потрајати неколико дана. Смањење форсираног виталног капацитета (FVC) одмах након активности, редукција вршног протока (PEF) и повећање резидуалних волумена су описани налази код различитих врста физичке активности.

## **Замор**

Замор је привремено смањење или престанак функције неког органа или система органа. Такође, замор се може дефинисати као значајно ограничење физичке активности, али процеси који га прате и даље нису схваћени у потпуности, упркос читавом веку истраживања. Овоме очигледно доприноси чињеница да је замор веома сложен концепт, који укључује велики број физиолошких и психолошких фактора. Замор који је проузрокован физичком активношћу заснива се на физиолошким основама. Овај физиолошки замор се тумачи као механизам за упозорење који треба да спречи пренапрегнуће читавог организма или појединог његовог дела.

Мишићни замор се дефинише као било која редукција максималног капацитета за генерисање силе или излазне снаге изазвана физичком активношћу.

Централни замор, у оквиру ЦНС-а, се дефинише као сваки пад силе проузрокован редукцијом окидајуће фреквенце укључених мотонеурона.

Периферни замор, с друге стране, се може дефинисати као дефицит силе или снаге који се јавља упркос оптималној активацији мишићних влакана од стране мотонеурона.

Замор на неуромишићном споју представља неуспех у трансмисији на неуромишићној синапси.

Замор заснован на процесима иза неуромишићне синапсе није изазван директном стимулацијом мишића на моторној тачки, већ мишићна влакна нису у могућности да одговоре подједнако добро као у незамеарајућој ситуацији, упркос оптималној стимулацији од стране моторног нерва.

Миофибрилни замор је изазван немогућношћу мишићног влакна да адекватно реагује на повећану концентрацију  $\text{Ca}^{2+}$  јона.

Устаљено је мишљење да метаболички фактори играју значајну улогу у мишићном замору, деловањем на функционисање мишића спречавањем ресинтезе аденозин-трифосфата или ометањем односа ексцитација-контракција на неуромишићној синапси. До одређене мере и под одређеним околностима, нагомилавање киселих производа метаболизма (млечна киселина, лактат и др.) и губљење извора енергије су од значаја, али не тако често како се верује. Веза између млечне киселине и замора углавном је посредна преко смањења рН вредности, уз могуће оштећење контрактилних елемената. Ово се догађа при физичкој активности великог и максималног интензитета, када за добијање енергије уз помоћ кисеоника нема времена, па се користи енергија из анаеробних извора (видети поглавље 14.1). Ограничење у снабдевању енергијом услед пражњења депоа енергије, првенствено гликогена, узрок је замора при физичкој активности умереног интензитета у условима равнотежног стања (видети поглавље 14.2).

Као последица тренажног процеса могу настати следећа стања слична замору:

а) Прекорачење (*Overreaching*) је физиолошка појава смањења радне способности под утицајем неколико интензивнијих тренинга. То је нормално стање које се јавља у тренажном процесу и указује да је задато оптерећење довољан стимулус за подизање радне способности на виши ниво.

б) Преоптерећење (*Overstrain*) карактерише постојање физиолошког замора и замора ЦНС-а. Сматра се граничним подручјем између физиолошког и патолошког стања и уводом у претренираност. Настаје као последица једног или више ексцесивних тренинга.

в) Претренираност (*Overtraining*) је стање организма у коме долази до пада радне способности и испољавања многих симптома органске и функционалне природе. Последица је интеракције више фактора: грешки у вођењу тренинга, стила живота спортисте, психичке напетости, социјалног окружења или погоршаног здравственог стања.

г) Хронични умор (*Chronic fatigue syndrom*) је појава условљена замором ЦНС-а која траје дужи временски период. Испољава се мишићном слабошћу и боловима у мишићима, анксиозношћу, депресијом и честим вирусним инфекцијама. Међутим, физичка радна способност је очувана или само незнатно смањена.

Карактеристика свих живих бића је реакција на тренутне (акутне) надражаје и адаптација или прилагођавање на дуготрајне (хроничне) надражаје. Адаптацијом на дуготрајне утицаје (промењене захтеве) организам обезбеђује опстанак и функционисање у промењеним условима средине. Спортски тренинг, кроз понављање одређених активности, доводи до структуралних и метаболичких адаптација што повећава функционалне способности организма.



## Дефиниције појмова мишићне силе, снаге и издржљивости

Када је сила елемент људског покрета (фактор премештања тела, његових делова, или других материјалних тела у простору), тј. када се разматра као својствена способност човека за извршавање одређене моторичке активности (рада), тада мишићна сила може да се дефинише као способност човека да делује или да се супротставља физичким објектима из спољашње средине или мишићним контракцијама које се преко система полуга преносе на тело.

Мишићна снага се у литератури која се бави спортом дефинише као способност мишића за савладавање силе, што доводи до мешања појмова снаге и силе као елементарних способности човека. Као најпогоднија дефиниција за примену у испитивању покрета тела снага се може представити производом силе и брзине тела на које та сила делује

Мишићна сила и снага се могу представити и као донекле независна својства локомоторног апарата човека. Највећу силу мишићи развијају у изометријским или „квазиизометријским“ условима (тј. при малим брзинама покрета), а са повећањем брзине покрета сила опада а снага расте. Пораст снаге се јавља све до тренутка достизања оптималне брзине скраћења мишића при којима снага достиже своје максималне вредности. За већину мишића та оптимална брзина приближно износи  $\frac{1}{3}$  њихове максималне брзине скраћивања, што приближно договара  $\frac{1}{2}$  максималне силе.

Способност одређеног мишића или мишићне групе за савладавање оптерећења, специфична је за мишићну групу, тип контракције, брзину контракције и угао зглоба који се тестира у циљу њеног одређивања. Због тога, не постоји универзална процена мишићне силе и снаге целог тела. Максимална вредност силе или снаге коју може да развије одређени мишић или мишићна група у најкраћем временском периоду означава се као експлозивна сила или експлозивна снага.

Мишићна издржљивост представља способност мишића односно мишићне групе да изврши понављање контракције кроз период времена довољан да изазове мишићни замор или способност да одржи специфични проценат максималне вољне контракције у току дужег временског периода.

### *Типови мишићних контракција*

Мишићне контракције се могу класификовати на више начина у зависности од одреднице која се користи. Приказана класификација је најчешће у употреби у научној и стручној литератури која се бави спортом.

Статичка или изометријска контракција подразумева мишићну активност при којој не долази до покрета у зглобу. Мишић се најчешће контрахује по типу статичке контракције када је оптерећење превелико да би се савладало или када се оптерећење намерно одржава у одређеној позицији. И поред тога што не долази до видљивог покрета у зглобу, долази до промене, односно малог скраћивања мишићног влакна које се неутралише еластичним компонентама мишића.

Динамичка контракција подразумева мишићну активност при којој долази до покрета у зглобу. У случају да приликом савладавања оптерећења долази до скраћивања мишића, то се означава као концентрична контракција. Уколико је оптерећење веће него што се

може савладати или се жели постепено и контролисано одупирање оптерећењу, долази до издуживања мишића, што се означава као ексцентрична контракција. Типичан пример ексцентричне контракције у вежбама са оптерећењем се јавља када се под утицајем гравитације терет враћа у почетну позицију. Постепено враћање у почетну позицију је омогућено захваљујући контролисаном издуживању мишића, без кога би терет под утицајем гравитације нагло пао.

Изокинетичка контракција подразумева константну угаону брзину приликом мишићне контракције. То значи да брзина покрета остаје иста без обзира на величину испољене силе приликом контракције.

Изотоничка контракција према дефиницији представља контракцију током које је мишићни тонус константан. Међутим, оваква контракција је практично неизводљива због чињенице да се током сваког покрета мишићни тонус мења. Због тога је овај термин замењен термином изоинерцијална контракција. Приликом изоинерцијалне контракције савладава се константна маса (спољашње оптерећење) током целог покрета.

### **Адаптација на тренинг силе и снаге**

Испољавање мишићне снаге у највећој мери је одређено морфолошким и физиолошким факторима скелетномишићног ткива и зглобова сваке јединке.

Брза адаптација нервног система у великој мери објашњава брз и значајан напредак у мишићној снази током почетних (раних) фаза тренирања. Адаптивне промене унутар самих мишића током почетних фаза тренинга нису значајне, јер не долази до битног повећања обима или површине попречног пресека скелетних мишића. Такође, сматра се да неуролошка адаптација стоји у основи напретка мишићне снаге и силе код старијих особа укључених у тренинг снаге. Сложеност тренинга у значајној мери одређује правац неуромишићне адаптације. Релативно једноставне активности мишића (нпр. прегиб бицепса на клупи) у поређењу са сложенијим покретима (нпр. потисак ногама) показују јако брзу неуромишићну адаптацију у ранијој фази тренирања праћену повећањем снаге и мишићном хипертрофијом у каснијој фази. Комплексније радње са више укључених зглобова и мишића, захтевају више времена за неуромишићну адаптацију.

Хипертрофија означава повећање одређеног органа или неког његовог дела узроковано повећањем величине ћелија које га сачињавају. Повећање мишићне силе представља примарни стимулус за отпочињање повећања скелетне мускулатуре (хипертрофију) током тренинга. Механичко оптерећење (стрес) компоненти мишићног система иницира сигнале протеине који затим активирају гене одговорне за стимулацију синтезе протеина. Повећана синтеза протеина доводи до повећања мишићне масе. Ова узрочно-последична веза представља фундаменталну биолошку адаптацију организма на физичку активност са повећањем оптерећења, независно од пола и старости. Повећање мишићне снаге не захтева увек хипертрофију мишићних влакана због тога што неуролошки фактори значајно утичу на испољавање снаге. Касније промене и побољшања у испољавању снаге уопштено су у вези са уочљивим променама у унутарћелијској молекуларној структури скелетно-мишићних ћелија.

Раст мишића током тренинга са повећањем оптерећења последица је повећања дијаметара појединачних мишићних влакана обухваћених тренингом. Повећање

скелетних мишића може бити резултат поновљених оштећења мишићног ткива (нарочито код ексцентричних контракција) које прати компензаторно повећана синтеза протеина, доводећи до анаболичког ефекта. Миофибрили задебљавају и повећава се њихов број, а због увећане протеинске синтезе долази и до формирања додатних саркомера. Поред тога долази до значајног повећања анаеробних извора енергије у мишићним ћелијама: аденозинтрифосфата (АТП), креатинфосфата (КФ) и гликогена. Ово доприноси већем и бржем ослобађању енергије током напорних тренинга. Телесни састав утиче на индивидуалне разлике у адаптацији на тренинг снаге. Већи напредак мишићне масе настаје код особа које су имале веће релативне вредности безмасног ткива пре процеса тренинга.

### **Кардиореспираторна издржљивост**

Кардиореспираторна издржљивост или аеробна издржљивост је способност читавог тела да одржава дуготрајну физичку активност и укључује релативно велике мишићне групе. Кардиореспираторна издржљивост је повезана са развојем способности кардиоваскуларног и респираторног система да одржавају допремање кисеоника до ангажованих мишића током дуготрајне физичке активности, као и са способношћу мишића да неопходну енергију добијају аеробним процесима. Наведено је разлог због кога се термини кардиореспираторна и аеробна издржљивост понекад користе као синоними.

Максимална потрошња кисеоника— $\text{VO}_{2\text{max}}$  представља највећу количину кисеоника коју организам може примити (потрошити) током једног минута оптерећења максималног интензитета. Већина научника који проучавају физичку активност сматра да је  $\text{VO}_{2\text{max}}$  најобјективнија лабораторијска мера кардиореспираторне издржљивости. Са тренингом издржљивости више кисеоника може се допремити и искористити у активним мишићима. Та побољшања допуштају појединцу да изводи физичку активност за коју је неопходна издржљивост вишим интензитетом, побољшавајући могућност извођења. Без обзира колико је кардиоваскуларни систем адаптиран за надокнаду адекватних количина крви у ткивима, издржљивост би била ометана уколико респираторни систем не би био способан да допреми довољно кисеоника да задовољи кисеоничке захтеве. Функција респираторног система обично не ограничава извођење физичких активности зато што вентилација може бити повећана у већем обиму него кардиоваскуларна функција. Респираторни систем бива подрвргнут специфичној адаптацији током тренинга издржљивости, како би своју ефикасност довео до вишег нивоа. Плућна вентилација обично није сматрана фактором ограничења извођења физичких активности типа издржљивости. Међутим, неки докази сугеришу да на одређеној тачки адаптације високо тренираног појединца, капацитет плућног система за транспорт кисеоника може бити недовољно способан да задовољи захтеве делова тела и кардиоваскуларног система.

Кардиореспираторна издржљивост се сматра, по већини објављених радова и уџбеника из области науке о спорту, најважнијом компонентом физичке припремљености. Она је главна одбрана спортисте од исцрпљености. Низак капацитет издржљивости води ка замору, чак и у спортовима и активностима ниже динамике. За сваког спортисту, без обзира на дисциплину или активност, замор представља главну препреку оптималног

извођења. Чак и незнатан замор може омести укупно достигнуће спортисте због тога што је: мишићна снага умањена, време реакције и кретања продужено, агилност и неуромускуларна координација умањени, брзина читавог тела смањена, концентрација и окретност смањени. Кардиореспираторна издржљивост појединца је одређена великим бројем фактора. Најзначајнији међу њима су: године старости, пол, телесна маса, гено-тип, физичка активност (степен утренираности), акутне и неке прележане болести итд.

### **Адаптација на тренинг издржљивости**

Побољшање издржљивости које је праћено редовним аеробним тренингом резултат је бројних адаптација на тренажни стимуланс. Неки адаптивни процеси дешавају се унутар самих мишића обезбеђујући ефикаснији транспорт и коришћење кисеоника и енергетских супстрата. Друге важне промене дешавају се у кардиоваскуларном систему побољшавајући циркулацију до, и у самим мишићима.

Увећање димензија леве срчане коморе, смањен периферни отпор у крвним судовима и већа количина крви су адаптивне промене у организму током тренинга издржљивости које омогућавају повећање вредности ударног волумена срца током максималне и субмаксималних физичких активности, као и у мировању.

Проток крви у мишићима је повећан са тренингом издржљивости услед повећања капиларне мреже (стварањем нових и отварањем постојећих капилара), ефикасније дистрибуције протока крви и повећања количине крви. Повећање количине крви је узроковано увећањем запремине крвне плазме, при чему се смањује вискозност и олакшава циркулација и допремање кисеоника.

Тренинг издржљивости резултује снижењем вредности крвног притиска током субмаксималног интензитета физичке активности, док је при максималном интензитету физичке активности систолни притисак повишен, а дијастолни притисак снижен у поређењу са вредностима пре тренинга.

Тренинг издржљивости доводи до повећања броја и величине митохондрија у мишићним влакнима. Активност многих оксидативних ензима је појачана као последица адаптације на овакву врсту тренинга. Ове промене које се дешавају у мишићима, комбиноване са адаптацијом транспортног система кисеоника, повећавају капацитет оксидативног метаболизма и повећавају кардиореспираторну издржљивост.

Адаптирани скелетни мишић садржи знатно више гликогена у поређењу са неадаптираним мишићем. Такође у адаптираним мишићима је већи садржај масти (триглицерида). Активност многих ензима укључених у  $\beta$  оксидацију масти расте са тренингом, што резултира повећањем нивоа слободних масних киселина. Наведене промене резултују повећаном употребом масти као извора енергије, уштедом гликогена и на тај начин ставарањем услова за дуже обављање одређене физичке активности без појаве замора.

## Механизми адаптације на висински тренинг

Спортисти и њихови тренери користе висинске тренинге у разноврсним облицима, у циљу побољшања резултата у такмичењу. Традиционални приступ је одлазак у неку област где на повећаној надморској висини (изнад 1.800–2.000 метара) постоје одговарајући терени за припреме спортиста. Надморска висина изнад 1.800–2.000 метара са гледишта физиологије спорта представља праг реакције организма. Наиме, изнад поменуте надморске висине долази до снижавања атмосферског притиска (хипобарични услови) и пропорционалног снижавања парцијалног притиска кисеоника ( $\text{ppO}_2$ ) у атмосферском ваздуху (хипоксични услови) што изазива покретање физиолошких механизма адаптације. Од нивоа мора до надморске висине од 1.800m организм практично не испољава никакву специфичну реакцију, па се ова зона назива индиферентном зоном. Зона између 2.000m и 4.000m надморске висине сматра се зоном потпуне компензације због могућности организма да у потпуности компензује хипобаричне и хипоксичне услове. На висинама већим од 4.000 метара адаптациони механизми све мање могу да компензују услове средине, па се ова зона назива зоном непотпуне компензације.

Последица пада  $\text{ppO}_2$  у атмосферском ваздуху је смањење притиска кисеоника у удахнутом ваздуху који стиже до алвеола плућа. Због тога, мања количина кисеоника улази у крвоток и бива пренешена до ћелија. Резултат је недостатак кисеоника у ћелијама организма. Да би се снабдевање ткива и ћелија кисеоником одржало на приближно истом нивоу плућна вентилација мора да се повећа и тако компензује смањење  $\text{ppO}_2$ . Због тога је прва јасно уочљива физиолошка адаптација при боравку на већим надморским висинама повећање фреквенције дисања. Такође, у току прва 24 часа боравка на већим надморским висинама долази до смањења виталног капацитета плућа, док се повећава вредност резидуалног волумена. Ово је још један од механизма којим се организм тренутно прилагођава на наглу промену спољашњих услова. У првим данима боравка на планинама, нарочито за време физичких активности, недостатак кисеоника је најизраженији. То практично значи да је ћелијама много теже обезбедити оптималну количину кисеоника у мировању, и нарочито при физичкој активности. Један од првих механизмима којим се организм адаптира на веће надморске висине је промена минутног волумена срца. Ова адаптација огледа се у повећању срчане фреквенције док се вредност систолног волумена не мења. На овај начин постиже се да бржим протоком крви ћелије добију већу количину кисеоника.

Сви описани механизми нису довољни да у првим данима одрже допремање кисеоника ћелијама на нивоу који постоји на за организм уобичајеним надморским висинама. Како је допремање кисеоника најважнији фактор који ограничава физичку активност јасно је да се у процесу адаптације на високе надморске висине мора рачунати на смањење физичких (радних) способности. Додатно неповољно на физичку активност у том периоду делује повећање нивоа лактата, како у мишићима тако и у крви, у поређењу са нивоима који постоје на уобичајеним надморским висинама. Ово повећање нивоа лактата је секундарно и последица је интензивирања процеса анаеробног метаболизма као одговора на недостатак кисеоника у организму. Како се продужава боравак на већој надморској висини тако се човек све боље адаптира и постаје способан да обавља физичке активности све већег интензитета. Адаптација се постиже повећањем

вентилације, повећањем броја еритроцита, повећањем прокрвљености ткива и повећањем способности ћелија за искоришћавање кисеоника. Повећање броја еритроцита и количине хемоглобина је спор процес који има ефекта тек након две недеље, док пуну вредност достиже после месец дана или дуже.

Адаптивне промене којима се организам прилагођава условима на већим надморским висинама пружају могућност да се, при повратку на уобичајене атмосферске услове и  $\text{ppO}_2$ , физичка активност обавља дуже или у већем интензитету. Повећана плућна вентилација и количина хемоглобина уз бољу прокрвљеност ткива дозвољавају веће достављање кисеоника ћелијама. На тај начин ствара се база неопходна за повећање метаболичких процеса у организму и интензивирање физичких активности. Наравно, све настале промене су реверзибилне (повратне) и трају око две до четири недеље после повратка на уобичајене (нормалне) атмосферске услове.

## **Адаптације на спортски тренинг код деце и адолесцената**

### **Мишићна маса, сила и снага**

Мишићна маса се равномерно повећава упоредо са повећавањем телесне масе од рођења до адолесценције. Код дечака највећи раст мишићне масе постиже се у пубертету упоредо са наглим повећањем продукције тестостерона. Код девојчица током пубертета изостаје изразити пораст мишићне масе. Пораст мишићне масе код дечака и девојчица првенствено је резултат хипертрофије мишићних влакана. Код особа женског пола максимум мишићне масе достиже се између 16. и 20. године, а код особа мушког пола између 18. и 25. године, с тим да је могућ и даљи развој уз одговарајући тренинг и адекватну исхрану. Наука и струка спорта још увек немају дефинитивни став о ефективности тренинга силе и снаге у преадолесценцији. По резултатима неких претходних студија деца у преадолесценцији имају исту или нижу релативну могућност повећања силе (напредак изражен у процентима), али увек нижу апсолутну могућност повећања силе (напредак изражен мерним јединицама) у односу на адолесценте и млађе одрасле особе. Уз прикладне техничке инструкције, упражњавање адекватних вежби и надзор током тренирања, тренинг силе и снаге није посебно ризична активност за преадолесценте и адолесценте.

### **Кардиореспираторна издржљивост**

Кардиореспираторна издржљивост (изражена кроз вредност максималне потрошње кисеоника— $\text{VO}_{2\text{max}}$ ), изражен у  $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$  нижа је код деце у односу на одрасле, на сличним нивоима тренираности. Наведена разлика последица је мањег минутног волумена срца код деце. Када се релативне вредности  $\text{VO}_{2\text{max}}$  користе за приказ разлика у величини тела између деце и одраслих, разлике су мале или не постоје. Мања запремина срчаних шупљина и мања количине крви у организму су разлог мањег минутног волумена срца код деце у односу на одрасле. Виша срчана фреквенција код деце може само делимично надокнадити нижи ударни волумен, те је вредност максималног минутног волумена срца нижа од оне код одраслих особа. Крвни притисак је директно повезан са величином тела: нижи је код деце него код одраслих, али достиже вредности као код одраслих особа у периоду касније адолесценције годинама. Чак и приповећаној срчаној фреквенцији, укупна количина испумпане крви код деце је мања него код одраслих, али пораст у

артерио–венској разлици кисеоника обезбеђује адекватно допремање кисеоника активним мишићима. Како се побољшавају кардиоваскуларне и плућне функције при континуираном развоју, тако се повећава аеробни капацитет. Плућни волумени се повећавају до физичке зрелости, првенствено услед повећања величине тела. Изражен у односу на телесну тежину,  $\text{VO}_{2\text{max}}$  код деце сличан је вредности одраслих, али у активностима као што је трчање, деље извођење је далеко слабије од оног код одраслих. Изражен у  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$   $\text{VO}_{2\text{max}}$  достиже максимум између 17. и 21. године код мушкараца и између 12. и 15. код жена, након чега постепено опада.

## **Адаптације на спортски тренинг код старијих особа**

### **Мишићна маса, сила и снага**

Смањење мишићне силе и снаге током процеса старења резултат је значајног губитка мишићне масе који прати старење и/или смањење физичке активности. Подаци из бројних истраживања показују да смањење у броју и величини мишићних влакана настаје услед старења. Резултати циљаних истраживања показују да се губи приближно 10% укупног броја мишићних влакана у току сваке деценије после 50. године живота. Постоје опречни резултати о ефектима старења на различите типове мишићних влакана. Сматра се да повећање процента тип 1 влакана вероватно настаје због смањења броја тип 2 влакана. Узрок губитка тип 2 влакана је још увек нејасан, а сматра се да се број моторних неурона који инервишу тип 2 мишићних влакана смањује током старења. Такође, истраживања су показала да старење прате значајне промене у способности нервног система да обради информације и да активира мишиће. Прецизније, старење утиче на способност да се открије стимулус и да се обради информација да би се произвео одговор. Прости и сложени покрети се успоравају са старењем, мада су људи који остану физички активни само незнатно спорији од млађих, активних особа.

### **Кардиореспираторна издржљивост**

Промене у степену издржљивости које прате процес старења у великој мери се могу приписати слабљењу централне и периферне циркулације. Често је веома тешко направити разлику између резултата биолошког старења и физичке неактивности. Резултати више истраживања сугеришу да кардиореспираторна издржљивост (изражена кроз вредност максималне потрошње кисеоника  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) опада у просеку за око 1% годишње (10% за једну деценију). Сматрасе да веома интензивно тренирање има успоравјући ефекат на стопу смањења кардиореспираторне издржљивости током средњих година живота (нпр. од 30. до 50. године), али мањи ефекат након 50. године живота. Природно смањење физиолошких функција се јавља током старења, али се оно такође погоршава и тиме што људи много више седе када почињу да старе.

### Чула положаја (проприоцептивна чула)

Чула положаја се састоје од чула статичког положаја и чула брзине кретања. Чуло статичког положаја пружа свесну оријентацију о положају различитих делова тела у односу на друге делове тела. Чуло брзине кретања назива се још и динамском проприоцепцијом или кинестезијом. Познавање положаја, и статичког и динамичког, зависи од познавања угла зглоба у свим равнима и брзине његове промене током покрета. Најважнији рецептори за откривање брзих промена у зглобовима и контролу покрета мишића су мишићна вретена.

Мишићна вретена су сензорни органи постављени између влакана скелетног мишића и паралелно са њима. Мишићна вретена садрже сензоре интезитета и диференцијалне сензоре за праћење положаја зглоба и покрета. Брзина промене положаја се одражава пролазним порастом фреквенције импулса, а коначан положај зглоба је изражен константном фреквенцијом импулса. Функција мишићних вретена је регулација дужине мишића. Мишићна вретена која су паралелна са влакнима скелетних мишића, називају се екстрафузална мишићна влакна, и садрже сопствена мишићна влакна која се означавају као интрафузална мишићна влакна. Постоје два типа интрафузалних мишићних влакана: влакна са једрима у низу (имају функцију сензора интезитета) и влакна са једрима у врећици (имају функцију диференцијалних сензора). Завршеци сензорних нерава тип Ia омотавају се око оба типа интрафузалних влакана, док се завршеци сензорних нерава тип II увијају само око влакана са једрима у низу (Слика 12.1). На описани начин формирају се анулоспирални завршеци који детектују уздужно истезање интрафузалних мишићних влакана и преносе информације до кичмене мождине о дужини и промени дужине. Моторну инервацију оба типа интрафузалних влакана врше еферентни  $\gamma$ -мотонеурони (фузимоторна влакна), омогућујући промене њихове дужине и осетљивост на истезање.

Голџијеви тетивни органи се налазе у тетивама које мишић повезују са костима и серијски су везани за мишић. Састоје се од инкапсулираних колагених влакана која су окружена завршним гранама сензорних нерава тип Ib (Слика 12.1). Примарна функција Голџијевих тетивних органа је регулација тонуса (напетости) мишића. Стимулус је контракција мишића и повећана напетост тетиве, а потом импулси из сензорних нерава тип Ib инхибишу A $\alpha$ -моторне неуроне за мишиће и спречавају нову контракцију.

### Чуло равнотеже (вестибуларни апарат)

Рецептори чула равнотеже смештени су у полукружним каналићима унутрашњег ува. Постоје три полукружна каналића (предњи, задњи и хоризонтални), тако да захватају све три равни у простору, што њиховим рецепторима омогућује да се селективно надражују зависно од положаја главе у односу на гравитациону силу. Каналићи су испуњени течношћу названом ендолимфа. Сваки полукружни каналић има проширење које се означава као ампула и у њој малу малу кристу (*crista ampullaris*). На врху кристе је желатинозна маса означена као купула. Приликом покрета главе и ротационог (угаоног) убрзања кретање ендолимфе из канала у ампулу савија купулу на супротну страну и надражује четкасте ћелије.



Надражаји се преносе VIII можданим живцем (*n.vestibulocohlearis*) до вестибуларних једара у продуженој моздини. Од ових једара одлазе нервни путеви који носе надражаје за: а) мали мозак, б) једра нерава који покрећу очну јабучицу (III, IV и VI мождани нерв), в) предње рогове кичмене мождине, д) таламус и вероватно кору великог мозга.

Улоге вестибуларног апарата се остварују преко ових нервних веза са одговарајућим деловима ЦНС-а.

Веза вестибуларног апарата са малим мозгом (заједно са везом ретикуларне супстанце можданог стабла са малим мозгом) остварује одржавање равнотеже и усправни став тела. Код оштећења ове везе долази до поремећаја равнотеже.

Веза са нервима који покрећу очну јабучицу омогућује координацију и контролу кретања главе и очију.

Веза са предњим (моторним) роговима кичмене мождине, заједно са ретикуларном супстанцом можданог стабла, доводи до повећања тонуса мишића и мишићних рефlekса.

Веза са таламусом и вероватно кором великог мозга није јасно дефинисана. Ова веза омогућује добијање осећања у вези са положајем, кретањем и дејством силе земљине теже и центрифугалне силе.

### **Контрола моторних функција**

Контролу моторних функција и покрета тела врше кора великог мозга и центри у можданом стаблу (продуженој моздини, можданом мосту и средњем мозгу). Ова два дела ЦНС-а, заједно са малим мозгом и базалним ганглијама контролишу врло сложене покрете које човек развија за специјалне циљеве. У кори великог мозга испред централне бразде налази се моторна кора, док је иза ње сомато-сензорна кора. Моторна кора је подељена на три одвојена региона: примарну моторну кору, премоторни регион (кора) и суплементарни моторни регион. Сензорна кора шаље у моторну кору импулсе који служе за контролу моторне функције.

У примарној моторној кори налази се топографски приказ различитих мишићних региона тела тзв. „моторни човечуљак“ (Слика 13.2). Више од половине целокупног примарног моторног кортекса се односи на контролу мишића шаке и мишића за говор који учествују у најсложенијим моторним радњама.

У премоторној кори се стварају нервни импулси који изазивају покрете групе мишића за извођење специфичног задатка. Задатак може бити позиција рамена и руку тако да шаке постају правилно оријентисане за извођење специфичног задатка (нпр. извођење слободног бацања у кошарци). Да би сложени задатак био изведен премоторна кора, базалне ганглије, таламус и примарна моторна кора сачињавају заједнички систем за контролу координисане мишићне активности.

Суплементарни моторни регион има додатну топографску организацију за контролу моторне функције. Вероватно да овај регион функционише заједно са премоторном кором да би се обезбедили постурални покрети, фиксациони покрети главе и очију итд. као основа за фину контролу шаке и стопала, путем премоторне и примарне моторне коре.

Базалне ганглије су помоћни моторни систем који не функционише самостално, већ у уској вези са моторном кором. Оне учествују у одржавању става тела, вољних покрета и неких делова аутоматских моторних покрета. Базалне ганглије учествују у контроли сложених образаца моторне активности (убацивање кошаркашке лопте у обруч, додавање фудбалске лопте, итд).

### **Контрола покрета тела**

Контрола покрета тела је сложена и захтева сарадњу многих подручја мозга и нижих делова ЦНС-а. Први корак у спровођењу покрета тела настаје у унутрашњим и спољашњим мотивационим деловима базалног дела мозга и хипоталамуса (лимбички систем), који шаљу сигнале до коре великог мозга, где се формира „груб нацрт“ планираног покрета. План покрета се затим шаље до малог мозга и до базалних ганглија. Ове структуре сарађују како би „груб нацрт“ претвориле у прецизне временске и просторне програме ексцитације. Мали мозак је важан за извођење брзих и аутоматизованих покрета, док су базалне ганглије одговорне за извођење спорих и намерних покрета. Прецизни програм (шема) покрета се шаље од малог мозга и базалних ганглија кроз таламус до моторне коре, одакле се нервним импулсима прослеђују информације до неурона кичмене мождине. Моторни импулси се преносе директно из моторне коре у кичмену мождину кроз кортикоспинални (пирамидални) пут и индиректно кроз бројне додатне путеве који укључују базалне ганглије, мали мозак и једра мозданог стабла. Преко моторних неурона кичмене мождине импулси одлазе до скелетних мишића и планирани покрет бива извршен.

Повратна информација од рецептора мишића и тетива до ЦНС-а дозвољава да се врши модификација моторних програма уколико је неопходно. Мишићна вретена су сензорни органи постављени између влакана скелетног мишића и паралелно са њима. Мишићна вретена садрже сензоре интензитета и диференцијалне сензоре за праћење положаја зглоба и покрета. Брзина промене положаја се одражава пролазним порастом фреквенције импулса, а коначан положај зглоба је изражен константном фреквенцијом импулса. Функција мишићних вретена је регулација дужине мишића. Голџијеви тетивни органи се налазе у тетивама које мишић повезују са костима и серијски су везани за мишић. Функција Голџијевих тетивних органа је регулација тонуса (напетости) мишића.

За правилно извођење покрета тела важна су сопствена искуства, која се стичу на основу података са многобројних рецептора, као и запажања спортског тренера који даје оцену – критику изведених покрета и радњи.

### **Динамички стереотип**

Динамички стереотип је сложена моторна радња која се одвија по тачно дефинисаном редоследу и временском распореду. Формирање динамичког стереотипа је основа учења технике у сваком спорту. Цео процес стварања динамичког стереотипа одвија се кроз фазу генерализације, фазу концентрације и усавршавања и фазу аутоматизације.

Фаза генерализације је почетна фаза учења у спорту односно стварања динамичког стереотипа и карактерише је пристизање великог броја импулса са рецептора чула вида, слуха и положаја (проприцепције). Процес раздражења изазван овим сигнаlima се брзо

шири моторном кором. Генерализација процеса условљава слање импулса не само одговарајућим, већ и другим мишићима. У том периоду процеси унутрашње инхибиције (кочења) су исувише слаби да би зауставили генерализацију раздражења. Из тог разлога покрети тела су нетачни, груби и често неадекватни. Током ове фазе учење се одвија по принципу доминанте коју особа покушава да испуни. У учењу вожње бицикла принцип доминанте је одржати равнотежу, а у тенису погодити лоптицу рекетом. Због тога код учења пливања нема смисла говорити о стиловима јер је ученик обузет бригом да се не удави.

Током фазе концентрације и усавршавања понављањем покрета почиње да се спутава и гаси општа генерализација, јер јачају околни процеси инхибиције. Поједини делови нервног система се постепено искључују, тиме и мишићи који се контрахују сувишно и непотребно. Постепено се покрети ослобађају непотребних компоненти, па постају све савршенији и изводе се са већом механичком ефикасношћу и мањим утрошком енергије. Да би учење у овој фази било успешно треба анализирати урађене покрете показивањем, извођењем пред огледалом, снимањем, задржавањем на појединим местима, итд. Трајање ове фазе је различито у зависности од врсте покрета и индивидуалних карактеристика одређене особе.

Фаза аутоматизације настаје постепеним уравнотежавањем процеса раздражења и инхибиције у нервном систему, при чему за извођење сложене моторне радње није потребна концентрација и пажња. Процесе раздражења тада преузимају субкортикални нервни центри, аутоматизовани су основни елементи кретања и о њиховм извођењу се не размишља. Динамички стереотип након ове фазе отпочиње само првим покретом и остали се одигравају ланчано потпуно аутоматски. Извођење покрета је знатно лакше, а замор наступа спорије. Захваљујући стварању динамичког стереотипа спортиста не мора увек бити усмерен на детаље извођења покрета, већ на друге задатке спортске активности (решавање тактичких задатака и др.).

Динамички стеротип има две важне карактеристике: сталност и инертност. Сталност значи да се формирани динамички стереотип не заборавља. Чак и велика временска пауза у извођењу неке сложене моторне радње не брише научени сложени покрет и захтева мало времена да се поново активира (нпр. пливање или вожња бицикле). Инертност значи да се једном формирани динамички стереотип касније изузетно тешко мења. Због тога што се формирање динамичког стеротипа врши на самом почетку бављења спортом најбољи стручњаци, а не почетници у тренерском послу, треба да раде са децом.