



## BIOMEHANIČKE KARAKTERISTIKE ZAVESLAJA U KRAUL TEHNICI

### BIOMECHANICAL CHARACTERISTICS IN FREESTYLE

Klara Šiljeg<sup>1</sup>, Goran Leko<sup>2</sup>, Joško Sindik<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hrvatski plivački savez, Zagreb

<sup>2</sup>Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

<sup>3</sup>Institut za antropologiju, Gajeva 32, Zagreb

#### SAŽETAK

Plivanje je sport koji se odvija u mediju koji je oko 780 puta gušći od zraka, što izaziva i veće trenje i veći otpor pri kretanju tijela. S cilju razvoja plivačkog sporta nužna su interdisciplinarna istraživanja biomehaničkih zakonitosti i istraživanja dinamike fluida, te njihovog međusobnog odnosa. Pod terminom "slobodni način plivanja", FINA podrazumijeva bilo koji način plivanja kojim će plivač postići maksimalnu brzinu. U pravilu, plivači u toj disciplini plivaju kraulom. Poznavanje više stilova tehnike kraul te samih elemenata tehnike, omogućit će bolju propulziju i smanjiti eventualne ozljede ramenog zgloba. Saznanja o stvaranju propulzije tijekom povijesti razvijalo je različite modifikacije plivanja kraul tehnikom. Preferencija plivača prema određenoj varijanti kroula može treneru ukazati na najefikasniji izbor dionice plivanja u kraul tehnici (50, 100, 200, 400 ili 800/1500metara) za tog plivača. Obzirom da zaveslaj rukama predstavlja i do 85% konačne propulzije pri plivanju u kraul tehnici te da je kraul tehnika najčešće upotrebljavana tehnika za vrijeme trenažnog procesa, poznavati sve faze rada rukama je neophodno. Ozljeda ramenog zgloba je najčešća ozljeda kod plivača. Pri učenju, korekciji i usavršavanju elemenata zaveslaja i stilova plivanja navedene su bitne pretpostavke i trenažna pomagala koja se koriste u svrhu biomehaničke optimalizacije rada rukama. Indeks koordinacije olakšava trenerima razumijevanje pojedine faze zaveslaja, te će zasigurno biti od značaja u direktnom radu s plivačem.

*Ključne riječi:* propulzija, ozljeda ramena, slobodni način plivanja

#### SUMMARY

Swimming is a sport that takes place in a medium which is about 780 times denser than air, causing greater friction and greater resistance to movement of the body. During the development of the swimming sport, interdisciplinary research biomechanical laws and research in fluid dynamics, and their mutual relations are necessary.

The term "freestyle", defined by FINA, imply any style that would enable the swimmer to achieve the maximum speed. Typically, swimmers in "freestyle" swim crawl. Knowing more styles and variations of the freestyle techniques, as well as freestyle elements, will enable to a swimmer a better propulsion, reducing possible injuries of the shoulder joint. Knowledge of creating propulsion throughout history has developed various modifications of the swimming freestyle technique. Preference for certain variety of the crawl for an swimmer, can enable to a coach to point out the most effective selection of distances in freestyle swimming technique (50, 100, 200, 400 or 800/1500 meters) for this swimmer. Since the arm stroke represents up to 85% of the final propulsion when swimming freestyle technique, and that the freestyle technique is most commonly used technique during the training process, knowledge of all phases of hands' work is necessary. The injury of the shoulder joint is the most common injuries in swimmers. In learning, correcting and training elements of strokes and styles of swimming, the essential assumptions and simulation tools used for the purpose of biomechanical optimization of hands' work are listed. The Index of coordination facilitates coaches to understand the individual stages of stroke, and it will certainly be of importance in the his/her direct work with the swimmer.

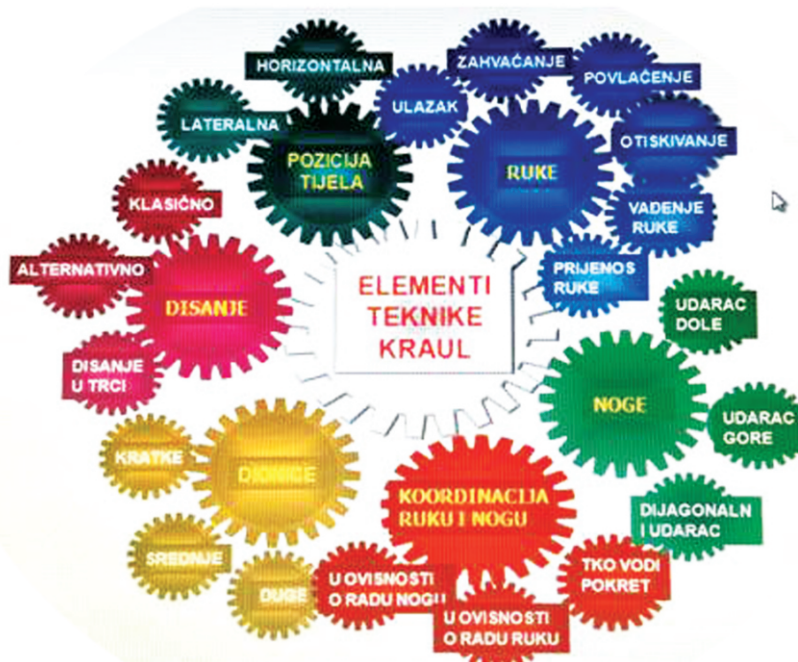
*Keywords:* propulsion, shoulder injury, freestyle swimming

## UVOD

Biomehanika zaveslaja se nameće kao ključna karika u sve bržem plivanju. Cilj je izvesti optimalnu tehniku pojedinog načina plivanja koja će stvoriti uvjete za što veću propulziju (9,18,30,60), a pritom ukupni otpor svesti na minimum (3,26,30). Takve pretpostavke uz odgovarajuće funkcionalne sposobnosti omogućiti će postizanje vrhunskih rezultata (2). Te dvije komponente (veća propulzija i manji otpor) ovisne su o antropometrijskim karakteristikama plivača, motoričkim i funkcionalnim sposobnostima, kognitivnim i konativnim faktorima (11,61). Stvaranje propulzivne sile u vodi ovisi o samoj biomehaničkoj izvedbi propulzivnog dijela zaveslaja (64). Ta sila se smanjuje ukoliko se potisak izvodi prema dole umjesto prema natrag (37). Bolja propulzija, manji gubitak snage i energije postiže se kada plivač rukama ubrzava veliku količinu vode u jedinici vremena pri maloj brzini pokreta, nego kada ubrzava malu količinu vode pri velikoj brzini pokreta (21). Zahvaćanje i ubrzavanje velike količine vode omogućuje efikasnije odguravanje rukama te brže pokretanje tijela prema naprijed. Cilj je propulzivnu silu

plivača pretvoriti u brzinu plivanja plivača prema naprijed. Adekvatna biomehanika zaveslaja, naročito kod plivača kraul tehnikom gdje propulzivni dio rada rukama osigurava i do 85% konačne propulzije plivanja (8,22,31) preduvjet je sprječavanju najčešće ozljede ramena kod plivača (27,40).

Ozljeda ramena javlja se uslijed opetovanih koncentričnih pokreta adukcije i unutrašnjih rotacija glenohumeralnog zgloba (1). Ista povreda se javlja za vrijeme plivačke karijere kod 90% plivača (58), iz jednostavnog razloga što plivač u toku jednog treninga uradi oko 2500 rotacija u ramenom zglobu (44). Istraživanja ukazuju na veliki postotak porasta ozljede ramena kod plivača: 3% (33); potom porast na 42% (48); porast na 40% do 69% (67); te konačno 80% (15). Kraul je tradicionalno najčešće upotrebljavana tehnika (11,37,60) u trenažnom procesu, kako za razvoj aerobnih sposobnosti, tako i za razvoj i napredak plivačke uspješnosti u sve četiri tehnike (61). Stoga se ovaj rad bazira na upoznavanju s elementima kraul tehnike s naglaskom na radu rukama s ciljem efikasnosti zaveslaja i smanjenja ozljeda (slika 1).



Slika 1. Prikaz elemenata kraul tehnike koji pretpostavljaju: poziciju tijela, rad ruku i nogu, koordinacija ruku i nogu, dionice kraul tehnike i varijante disanja u kraul tehnici. (Izvor: autoričina obrada)

## Pregled istraživanja unaprjeđivanja kraul tehnike

Propulzivna sila kao najvažniji motor pokretač u plivanju, predmet je istraživanja mnogih stručnjaka. Međutim ni danas se ne može sa sigurnošću utvrditi koji je osnovni izvor propulzije (35). Thomas Kirk Curetona koji je nazivan "ocem" plivačkih istraživanja počeo je s radom 30-ih godina prošlog stoljeća. Cuerton (2) ukazuje na činjenicu da je zaveslaj savinutom rukom najefikasniji, a takva tehnika i danas se koristi (35). Razvojem kraul tehnike (nakon stoljeća dominacije prsne tehnike),

plivački stručnjaci uočavaju da je konstantna propulzija preduvjet što manjoj promjeni brzine plivanja. Naime, ranije se prvenstveno smatralo da je propulzija uvjetovana III Newtonovim zakonom - povlačenjem ruku unatrag tijelo se kreće prema naprijed. Međutim, James Counsilmana i Robert Schleihauf, detaljnije objašnjavaju propulziju u plivanju, ukazujući da se voda ne potiskuje ravno prema natrag, već ruka gura vodu zakrivljenom putanjom (35). Counsilman (18,19), Counsilman i Brown (21) su svojim radom na Bernulijevom efektu, otkrili prirodu propulzije

primjenom teorije uzgona. Schleihau (52,53,54,55) je preciznim mjerenjima položaja ruku kod plivanja, primjenom vektorske analize, ukazao na spektar propulzivnih sila koje se javljaju kod četiri tehnike plivanja. Counsilman (20) je pokazao da se brzina dlana pri zaveslaju kod sve četiri tehnike konstantno povećava. Maglischo (37) je korištenjem trodimenzionalnog filma i fotografije te digitalnih tehnika, pokazao različite periode ubrzanja i usporenja tokom jednog zaveslaja. Na tragu Maglischovih proučavanja, Costill, Lee, D'Acquisto (16) su napravili video-komputerski program koji izrađuje analizu brzine plivanja u pojedinom djelu zaveslaja. Analiza utemeljena na primjeni tog programa ukazuje na odnos propulzivne sile koju razviju i promjenjive brzine kretanja ruku unutar ciklusa zaveslaja. Analiza ukazuje na važnost interakcije između zaveslaja plivača i same vode. Odnos sila uzgona i sila potiska u sklopu jedne od teorija stvaranja propulzije (teorija uzgona), kritizirane su od skupine znanstvenika (48,49). Oni su smatrali da ruke imaju ograničenu sposobnost promjene putanje u svrhu prilagodbe tijeku vode, pa procjenjuju da je kut napada dlana na vodu presudan za propulziju. Navedeno tumačenje argumentiraju II Newtonovim zakonom (5).

### Propulzivni dio zaveslaja u kraul tehnici

U kraul tehnici najveća propulzivna sila stvara se radom ruku (7,8,31). Stoga autori smatraju bitnim ukazati na razne varijante rada ruku u kraul tehnici.

Propulzivni dio zaveslaja (tzv. "S" zaveslaj ili "ravni" zaveslaj) je dio zaveslaja koji stvara propulziju. U ovisnosti je o rotaciji u ramenom zglobu i o položaju dijelova ruku u vodi (4,18,46). Pojam propulzivnog "S-zaveslaja" opisao je. Counsilman (17), koji je smatrao da se trajanje zaveslaja ispod vode produžava, kad plivač povlači rukama vodu po putanji koja opisuje slovo „S“. Ruka ulazi u vodu ispred ramena s palcem prema dolje, izvodi kretanju dlanom prema van, a zatim natrag i van prema boku (17,60). Prednost S-zaveslaja opovrgnuta je u 80-ima jer Counsilmanova pretpostavka nije uzimala u obzir rotaciju tijela za vrijeme zaveslaja. Naime, pokušavajući izvesti S-zaveslaj mnogi plivači rade predugačak zaveslaj koji uzrokuje pretjeranu rotaciju tijela koja dovodi do ozljede ramenog zgloba (65). Optimalna rotacija tijela omogućuje ruci da ostane što bliže ravnini lopatice. Time se smanjuje stres mekih tkiva prednjeg dijela ramenog zgloba (41). Pri izvedbi S-zaveslaja, dlan ruke koja ulazi u vodu je okrenut prema van, a palac prvi ulazi u vodu (14,35) što često dovodi do ozljeda ramena (37). Stoga plivači nastoje izvesti ulazak dlana u vodu s visokim laktom i prstima prema naprijed te izvesti zaveslaj ravno prema natrag (30), a koji se sastoji od faze zahvaćanja, povlačenja i otiskivanja (43). Vrijeme provedeno u određenoj fazi u najvećoj mjeri ovisi o dužini dionice koja se pliva (10,36,41,56,57). Sprinteri imaju kraću fazu zahvaćanja i dužu fazu povlačenja i potiskivanja u odnosu na dugoprugaše (12,25,41,39). Dobro izvedene faze ulaska, zahvaćanja, povlačenja i otiskivanja podrazumijevaju pravovremeno potiskivanje vode natrag iza tijela, na što dužem putu, što većom površinom ruke i sa što većom brzinom. Svi prsti zajedno

ulaze u vodu, a srednji prst pokazuje smjer kretanja prema suprotnoj strani bazena, pri čemu se treba voditi računa da ruka bude u produžetku ramena te da ne prelazi sredinu tijela (30,38,60). To će omogućiti buduću visoku poziciju lakta, a samim time i dobro zahvaćanje i povlačenje vode. Prsti su ravni, malo odvojeni i okrenuti prema dnu bazena. Treba paziti da zglob šake ne propadne prema dnu, a prsti se ne usmjere prema površini vode. Potrebno je napomenuti da faza zahvaćanja vode ne stvara propulzivnu silu. Cilj joj je postaviti ruku u optimalni položaj, kako bi se tijekom povlačenja stvorila maksimalna površina kojom će se potisnuti vodu prema natrag i smanjiti mogućnost ozljede. Povlačenje vode započinje kada je ruka postavljena u položaj i osigurava najveću zaveslajnu površinu. Počinje savijanje lakta i pritiskanje vode podlakticom prema natrag, dolje i unutra (35,38). Navedeni položaj omogućava zadržavanje visokog položaja lakta za vrijeme cijele faze zahvaćanja i povlačenja. Faza povlačenja koja pretpostavlja potiskivanje vode s usmjerenim dlanom prema natrag i visokom pozicijom lakta, dobrom rotacijom ramena ili kukova ili cijelog tijela dovest će do stvaranja propulzije. Cilj ove faze je pritiskati vodu iza sebe, a ne gurati je prema dnu bazena. Česta greška prilikom ulaska ruke u vodu je što plivači nastoje što dalje ući rukom ispred glave nastojeći imati duži zaveslaj. Međutim navedeno uzrokuje propadanje šake i lakta u vodi što za posljedicu ima nedovoljnu propulziju zaveslaja i potencijalnu ozljedu zgloba ramena koja je vrlo često nastaje u fazi ulaska ruku u vodu upravo. Pozicija ruke u propulzivnoj fazi odgovorna je za bol u ramenu, a 70 % simptoma boli se javlja u prvom dijelu propulzivnog zaveslaja - fazi povlačenja, dok 18% pri izvođenju prvog dijela retropulzivne faze zaveslaja (68,63,45).

### Četiri stila kraul tehnike (s obzirom na propulziju)

Četiri su stila kraul tehnike s obzirom na propulziju (6). Stilovi kraul tehnike ovise o antropometrijskim karakteristikama (24,28,33) i funkcionalnim zahtjevima same trke (10,36,41,56,57) i mogu se kombinirati unutar iste trke (6). Važnost kombinacije četiri stila posebno je bitna u dionicama od 100 i 200 metara.

1. *Kraul tehnika vođena kukom* je najčešće upotrebljavani stil naročito za vrijeme trenajnog procesa. U natjecateljskom plivanju najviše je zastupljena kod plivača koji plivaju 200 metara i duže. Frekvencija zaveslaja ovom varijantom se kreće od 67-71 ciklusa u minuti. Navedeni stil plivanja prati prirodnu rotaciju tijela i zahtijeva malu potrošnju energije. Nakon ulaska ruke u vodu, ruka se opruži prema naprijed i čeka dok pripadajući kuk ne postigne potrebnu dubinu. Zaveslaj počinje pruženom rukom, dlan okrenut na van, s palcem prema dole i tijelom nagnutom na stranu. Na ovaj način ruka je u poziciji za početak propulzivne faze zaveslaja (38). Prsti su usmjereni prema dnu bazena dok je lakat visoko podignut, a rame se rotira prema gore. Snažni udarci nogama omogućuju rotiranje kukova s jedne strane na drugu dok je glava još u vodi. U pravilu se izvodi 6 udaraca nogama za jedan ciklus zaveslaja rukama. Nakon



toga slijedi udah i priprema ruke za sljedeći zaveslaj. Noge imaju zadatak osigurati idealan hidrodinamički položaja tijela u vodi („stream line“). Za vrijeme povlačenja tijelo se kreće prema naprijed sve dok ruka ne dođe do bedra kada nastupa faza relaksacije. U tom momentu propulzivnu silu preuzima druga ruka (50).

Za poboljšanje navedenog stila plivanja koriste se vježbe pomoću lopatice za dlan i peraje koja se obuva na suprotnu nogu. Lopatice pomaže pri podizanju lakta i usmjeravanju prstiju prema dole nakon ulaska u vodu. Peraje pomažu usmjeravanju suprotne ruke prema dole nakon ulaska ruke u vodu. Vježba se izvodi samo jednom rukom dok je druga pružena niz tijelo. Plivač pliva lagano na boku s ispruženom rukom ispred tijela dok je suprotna ruka pružena niz tijelo. Nakon šest, osam ili deset udaraca nogama slijedi rotacija kukovima i kompletan ciklus zaveslaja rukama. Nakon toga se plivač nalazi na suprotnom boku i kreće vježbu iz početka (6,30,60).

**2. Kraul tehnika vođena ramenima** najčešće se pliva kod sprinterskih disciplina (50 metara) i na utrkama od 100 metara. Propulzija zaveslaja posljedica je rotacije ramena i snažnog zaveslaja. Iako estetski nije lijep, stil plivanja kraul tehnike jedino ovakvim načinom omogućava maksimalnu brzinu (6). Ruka nakon ulaska u vodu odmah započinje zahvaćanje vode ne čekajući potapanje kuka, čime se postiže se veća frekvencija ruku uz manju rotaciju tijela. Frekvencija zaveslaja ovom varijantom se kreće od 80-90 ciklusa zaveslaja u minuti. Ukoliko se ovom varijantom pliva sa dvoudarnom varijantom rada nogu, frekvencija zaveslaja se kreće od 90-100 ciklusa u minuti. Rad nogama prije svega služi za održavanje stabilnosti kukova kako bi mišići ramenog pojasa mogli izvršiti što efikasniji i snažniji zaveslaj. Ovakav način plivanja zahtijeva ogromnu količinu snage ruku i ramenog pojasa (za propulziju zaveslaja), te nogu (za održavanje kukova u istoj ravnini) (6).

Za vježbanje navedenog stila plivanja koriste se lopatice na obje ruke, dihalica i peraje na obje noge. Plivač pokušava osjetiti pritisak na vodu s šakom i prstima. Nastoji zadržati visoki lakat i pod vodom (6,30,60).

**3. Kraul tehnika vođena tijelom** se upotrebljava pri kraju same trke, pri finišu. Na kraju same trke plivači počinju "kopati duboko" nastojeći iskoristiti zadnji atom snage. Pretpostavlja se da je acidoza već nastupila. S ciljem zadržavanja prednosti, odnosno u borbi za što bolji plasman plivači spuštaju glavu duboko u vodu, vrše snažne i brze pokrete rukama i nogama i plivaju bez disanja. Navedeno dovodi do gibanja cijelog tijela i slično je plivanju male djece koja tek počinju plivati. Plivači koriste inerciju rotacije tijela koju nastavljaju zaveslajem ruku kroz vodu. Frekvencija zaveslaja je vrlo velika. Ovo je vrlo neefikasan stil plivanja u usporedbi s prethodna dva, a ima za cilj uključiti mišiće koji nisu do sada radili i s istim završiti trku najbrže moguće. Zahtjeva veliku količinu energije zbog upotrebe kompletne muskulature tijela i plivanja bez disanja stoga se upotrebljava samo na kraju trke (6).

U pogledu vježbi za trening kraul tehnike vođene tijelom, plivač pliva s perajama na obje noge. Vršiti udarce delfin nogu prvo na jednoj strani tijela, pa na drugoj, a

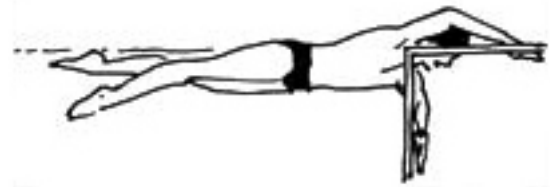
potom naizmjenično. Na taj način plivač nastoji osjetiti strujanje vode i otpore na koje nailazi. Potom vrši istu radnju nogama s glavom u vodi i bez disanja (6,60).

**4. Hibridna kraul tehnika** je ona u kojoj se u jednoj disciplini unutar trke isprepleću svi prethodno navedeni stilovi. Stilovi se mogu mijenjati tijekom dionice i tijekom samog plivanja. Plivač pliva početak trke kraul tehnikom vođenom ramenima, u sredini dionice kraul tehnikom vođenom kukovima i na kraju trke kraul tehnikom vođenom tijelom. Također, plivači koriste naizmjenično kraul tehnike vođene kukom i kraul tehnike vođene ramenima. Na zaveslaj jednom rukom plivaju tehniku vođenu kukom, a na zaveslaj drugom rukom koriste tehniku vođenu ramenima. Ovaj način najčešće koriste na srednjim dionicama. Najbolji primjer plivača koji pliva hibridnom tehnikom je Michael Phelps koji u istoj trci koriste sve varijante.

### Tri stila kraul tehnike prema položaju ruku u aktivnom dijelu zaveslaja

Kako bi izbjegli pad brzine tijekom zahvaćanja vode kada se ne stvara propulzija, plivači izvode zaveslaje koji se dijelom prepojavaju. Tri su stila kraul tehnike prema položaju ruku u aktivnom dijelu zaveslaja (14).

**1. Pravokutnim načinom** pliva većina plivača. Kada jedna ruka uđe u vodu, suprotna ruka nalazi se u sredini zaveslaja pod vodom.



Slika 2. Pravokutni način plivanja kraul rukama

**2. Rotacioni način** odgovara plivačima koji dišu na obje strane (nakon tri zaveslaja rukom). Kada ruka uđe u vodu, suprotna ruka je prošla sredinu podvodnog zaveslaja. Koriste ga češće plivači s dvoudarnim kraulom, te plivači sprinteri. Ovakav način zaveslaja proizvodi veću frekvenciju rada rukama (14).



Slika 3. Rotacioni način plivanja kraul rukama

3. *Zaveslajem s rukama u prednjem kvadrantu* plivaju plivači s izraženim optimalnim hidrodinamičkim položajem tijela, plivači s velikom plovnošću i jakim radom nogu, što rezultira manjim frontalnim otporom. Ruke se skoro preklapaju ispred glave. Češći je kod plivača na duge pruge, nego plivača sprintera (14).



Slika 4. Zaveslajem s rukama u prednjem kvadrantu

### Zaveslaj savijenom ili pruženom rukom?

U najnovijim istraživanjima prof. Mittal je došao do rezultata da zaveslaji pruženim rukama stvaraju veću propulzivnu silu od zaveslaja savijenim rukama u obliku slova "S" (66). Plivač kod ove varijante nastoji pruženu ruku potopiti i izvršiti maksimalni potisak s dlanom na najvećoj dubini. Međutim, kako takav zaveslaj stvara izrazito velika opterećenja na zglob ramena (49), savjetuje se da se takvim zaveslajem pliva samo na kratkim dionicama i to samo plivači koji su fizički maksimalni spremni. Takav zaveslaj se trenira na kratkim dionicama tijekom treninga, dok se preostali dio treninga pliva savijenim rukama.

### Retropulzivni dio zaveslaja u kraul tehnici

*Retropulzivni dio zaveslaja* je zapravo oporavak ruku u kraul tehnici. Oporavak nije u ovisnosti o stilu plivanja i ima veliku ulogu u sprječavanju povrede ramenog zgloba. Što je poluga duža to je sila reakcije u osloncu poluge tj. ramenu veća, pa je veća mogućnost ozljede ramena. Također, pružena ruka ima veću brzinu pri prolasku kroz zrak, a samim time i veći zaustavni moment kada ispružena ruka uđe u vodu. Usporavanje brzog pokreta zahtjeva ekscentričnu mišićnu kontrakciju koja stvara veliku kontraktilnu silu čime povećava stres unutar ramenog zgloba (46).

### Razlikuju se dva načina oporavka (6,49)

#### 1. Oporavak s podizanjem ruku i savijanjem u laktu

Opružena ruka završava zaveslaj kraj bedra i savinutim laktom izlazi van vode. Kretnja se nastavlja dok dlan ne izađe iz vode. Rame se rotira prema naprijed dok se tijelo počinje rotirati prema idealnoj poziciji gdje započinje povlačenje suprotnom rukom.

#### 2. Oporavak s ravnim rukama

Ruka je cijelo vrijeme oporavka ispružena. Kada ruka završi podvodni zaveslaj umjesto savijanja i podizanja lakta plivač rotira ruku tako da je dlan okrenut

unutra prema tijelu. Tako pružena ruka ulazi u vodu prvo prstima. Ruke izgledaju i vrše naizmjeničnu radnju poput vjetrenjače. Ovakav način plivanja povećava mogućnost ozljede ramena.

### Indeks koordinacije – važan aspekt trenažne analize zaveslaja u kraul tehnici

Znanstvenici pokušavaju olakšati analizu trenažnog procesa, nudeći niz primjera za svaki pojedini segment biomehanike zaveslaja. Jedan od njih je i Indeks koordinacije koji se sastoji od tri dijela zaveslaja kraul (10). Vrijeme opozicije predstavlja moment kada jedna ruka započinje fazu povlačenja, a druga završava fazu otiskivanja. Krivulja brzine kreće se valovito (najniža je u momentu završetka propulzivne faze, jedne ruke i početka propulzije druge ruke). Vrijeme zahvaćanja je period između uzastopne propulzivne faze gdje nema primjene propulzivne sile (vrijeme zaostajanja), pa plivač usporava. Krivulja brzine je valovita ali s negativnim vrijednostima. Vrijeme preklapanja je u momentu kada jedna ruka završava propulzivnu fazu, a druga započinje (10). Navedeno preklapanje pretpostavlja razumno vrijeme primjene sile koja stvara valovitu krivulju brzine s minimalnim propadanjem između valova. Indeks koordinacije ukazuje na vrijeme zaostajanja koje se događa između propulzivnih faza obje ruke. Trajanje propulzivne faze se povećava s povećanjem brzine unutar ciklusa zaveslaja (10).

Na slikama 5-7 dan je pregled sredstava koja se koriste za usavršavanje rada ruku.



Slika 5. Lopatice dizajnirane za treniranje "osjećaja vode" pri fazi zahvaćanja i potiskivanja s mreze: <http://www.swimsmooth.com/ptpaddles.html>, skinuto 8.7.2016



Slika 6. Lopatice dizajnirane za pravilan-aerodinamičan ulazak ruke u vodu



Slika 7. Rekvizit za korekciju pravilnog položaja podlaktice i lakta  
s mreže [http://www.swimoutlet.com/p/finis-forearm-fulcrum-paddles-6334/?q=1&richrelevance&ClickCP&item\\_page.rr1](http://www.swimoutlet.com/p/finis-forearm-fulcrum-paddles-6334/?q=1&richrelevance&ClickCP&item_page.rr1)

### Smjernice za rad trenera

Pretpostavlja se da su u vrhunskom sportu motoričke i funkcionalne sposobnosti maksimalno razvijene, stoga se naglasak u radu s plivačima stavlja na poboljšanje biomehanike zaveslaja. Trener kao ključna karika u plivačkom razvoju (29,34,51, 62) mora poznavati sve varijante kraul tehnike kako bi usmjerio plivača na eventualnu promjenu tehnike ili kako bi bio u mogućnosti evidentirati greške i izvršiti korekciju postojeće. Vrhunski

plivači sposobni su prilagoditi zaveslaj potrebama svog tijela i potrebama same trke (6), te na taj način povećati propulzivnu silu zaveslaja. Trener mora naučiti razlikovati osobnost stila plivanja od pogrešnog plivanja. Plivači često u tehničkoj izvedbi plivanja izgledaju drugačije premda se koriste istim (ispravnim) osnovama. Bitno je prepoznati neispravne pokrete koji mogu dovesti do ozljeda (spušteni lakat, ravna ruka u retropulzivnoj fazi, slaba rotacija tijela i propadanje ramena (44,59). Također je uz motoričko učenje tehnike bitno i osjetilno učenje, koje utječe na konačno izvođenje motoričkog znanja i sposobnosti.

### Zaključak

Poznavanje individualnih karakteristika i načina plivanja važan je dio treniranja. Ova činjenica ukazuje na važnost poznavanja biomehanike zaveslaja i principa vodene dinamike koja predstavlja novu znanstvenu granu (13). Dobar plivač manipulira (upravlja) sa strujanjem vode i kreće se kroz vodu jednostavno, s velikom efikasnošću i malom potrošnjom energije pri čemu vrši brzu promjenu položaja, smjera i brzine kretanja ruke/dlana. Nastoji proizvesti što veću propulzivnu silu i otpor svesti na minimum. Pritom se stvaraju različite varijacije (stilovi) među načinima plivanja plivača. Varijacije ovise o antropometrijskim karakteristikama, dužini dionice koja se pliva kao i o funkcionalnom statusu plivača. Iako stilovi predstavljaju individualan "potpis" svakog plivača u svrhu sprječavanja ozljede neophodna je intervencija trenera u smislu korekcije u određenim segmentima zaveslaja.

## Literatura

1. Bak K, Magnusson SP. Shoulder strength and range of motion in symptomatic and pain-free elite swimmers. *Am J SportsMed* 1997; 25(4): 454-9.
2. Barbosa TM, Bragada JA, Reis VM, Marinho DA, Carvalho C, Silva AJ. Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *J Sci Med Sport* 2010;13 (2): 262–9.
3. Berger MA, Hollander AP, De Groot G. Technique and energy losses in front crawl swimming. *J Sci Med Sport* 1997; 29: 1491-8.
4. Bixler B, Riewald S. Analysis of a swimmer's hand and arm in steady flow conditions using computational fluid dynamics. *J Biomech* 2002; 35(5): 713–7.
5. Blanch P. Conservative management of shoulder pain in swimming. *Phys Ther Sport* 2004; 5: 109–24.
6. Bottom M. Trends and techniques in freestyle. U: Hannula N, Thorton B, ur. *The swim coaching Bible*. Champaign IL: Human Kinetics, 2012; 2: 148 - 58.
7. Brooks RW, Lance CC, Sawhill JA. Kicking is not a significant source of propulsion. The biomechanical interaction of lift and propulsion forces during swimming. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(5): 910.
8. Bucher W. The influence of the leg kick and the arm stroke on the total speed during the crawl stroke. U: Lewillie L, Clarys JP, ur. *Second international symposium on biomechanics in swimming*. Baltimore, 1975; 180–7.
9. Capelli C, Pendergast DR, Termin B. Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *Eur J Appl Physiol* 1998; 78: 385-93.
10. Chollet D, Chaliés S, Chatard JC. Index of coordination – a measure of crawl stroke timing. A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *Int J Sports Med* 2000; 21: 54-9.
11. Cohen R, Cleary PW, Mason B, Pease D. The Role of the Hand During Freestyle. *J Biomech Eng* 2015; 1107-10.
12. Colwin CM. Cecil Colwin on swimming. London: Pelham Books, 1969.
13. Colwin CM. *Swimming into the 21st Century*. Champaign IL: Human Kinetics, 1992.
14. Colwin CM. *Breakthrough Swimming*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2002; 50-70.
15. Contreras JJ, Espinoza R, Liendo R i sur. Analysis of the internal and external rotation of the glenohumeral articulation and relation with the pain in elite swimmers. *Andal Sports Med Rev* 2010; 3(3): 92-7.
16. Costill DL, Lee G, D'Acquisto L. Video-computer assisted analysis of swimming technique. *J Swimming Res* 1987; 3(2): 5–9.
17. Counsilman, J.E. *Competitiv swimming manual for coaches and swimmers*. Bloomington, 1977: 1-20.
18. Counsilman JE. *Science of Swimming*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1968.
19. Counsilman JE. Application of Bernoulli's principle to human propulsion in water. U: Lewillie L, Clarys JP, ur. *Swimming I*. Brussels, 1971; 59-71.
20. Counsilman JE. *Hand speed and acceleration*. *Swimming Technique* 1981; 18: 22-6.
21. Counsilman JE, Brown RM. The role of lift in propelling the swimmer. U: Cooper JM, ur. *Selected topics of biomechanic: proceedings of the C.I.C. Symposium on Biomechanics*. Chicago, 1970.
22. Cureton TK. *How to Teach Swimming and Diving*, Association Press, Michigan, 1934; 217-22.
23. Deschodt VJ, Arsac ML, Rouard A.H. Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999; 80 (3): 192-9.
24. Dos Santos S. Relationship among anthropometric characteristics, stroke frequency and stroke length in Brazilian elite swimmers. U: Riehle HJ, Vieten M, ur. *Proceedings of the XVI International Symposium on Biomechanics in Sports*. Konstanz, 1998; 251-4.
25. Dulcos F, Legreneur P, Monteil K. Comparison of front crawl arm lengthening between olympic games finalists and French national level swimmers. U: Chatard JC, ur. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*. St. Etienne, 2002; 121-5.
26. Formosa DP, Mason BR, Burkett BJ. Measuring active drag within the different phases of front crawl swimming. U: Kjendlie L, Stallman RK, Cabr J, ur. *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*. Oslo, 2010; 49-50.
27. Gerrard DF. *Medical issues related to swimming*. U: Stager JM, Tanner DA, ur. *Swimming*. Oxford, 2005; 2: 115-28.
28. Grimston SK, Hay JG. Relationships among anthropometric and stroking characteristics of college swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 1986; 18 (6): 60-8.
29. Gummerson, T. *Sports coaching and teaching*. London, 1992.
30. Hanulla D. *Coaching swimming successfully*. Champaign IL: Human Kinetics, 2003.
31. Hollander AP, De Groot G, van Ingen Schenau G J i sur. Contribution of the Legs to Propulsion in Front Crawl Swimming. U: Ungerechts VB, Wilke K, Reischle K, ur. *Swimming Science*. Human Kinetics. Champaign, 1988; 39–44.
32. Kennedy JC, Hawkins RJ. Swimmers shoulder. *Phys Sportsmed* 1974; 2(4): 34-8.
33. Kennedy P, Brown P, Chengalur SN, Nelson RC. Analysis of male and female Olympic swimmers in the 100-meter events. *Int J Sport Biomech* 1990; 6: 187-97.
34. Krevsel, V. *Poklic športnega trenerja*. Ljubljana, 2001



35. Leko G. Slobodni način plivanja-Kraul. Zagreb, 2008; 26
36. Lerda R, Cardelli C. Breathing and propelling in crawl as a function of skill and swim velocity. *Int J Sports Med.* 2003;24(1):75-80.
37. Maglisco EW. A 3 - dimensional cinematographical analysis of competitive swimming strokes. U: Ousley RM, ur. *American swimming coaches.* Fort Lauderdale, 1983; 1-14.
38. Maglischo, E. W. *Swimming fastest.* California, London, Toronto: Mayfield Publishing Company Mountain, 2003.
39. McCabe CB, Psycharakis S, Sanders R. Kinematic differences between front crawl sprint and distance swimmers at sprint pace. *Journal of Sports Sciences* 2011; 29(2): 115–23.
40. McMaster WC. Shoulder injuries in competitive swimmers. *Clin Sports Med* 1999; 18(2): 349-59.
41. Millet GP, Chollet D, Chabies S, Chatard JC. Coordination in front crawl in elite triathletes and elite swimmers. *Int J Sports Med* 2002; 23:99-104.
42. Murphy TC. Shoulder injuries in swimming. U: Andrews JR, Wilk KE, ur. *The Athlete's Shoulder.* New York, 1994: 411–24.
43. Newsome P, Young A. *Swimm Smooth. The complete coaching system for swimmers and triathletes.* West Sussex, 2012; 9-15.
44. Pink MM, Tibone JE. The painful shoulder in the swimming athlete. *Orthop Clin North Am* 2000; 31: 247–61.
45. Pink MM, Edelman GT, Mark R i sur. *Applied Biomechanics of Swimming.* U: Magee DJM, Robert C, Zachazewski JE, Quillen WS, ur. *Athletic and Sport Issues in Musculoskeletal Rehabilitation.* St. Louis, 2011; 331-49.
46. Prins, J. Applying science to your coaching. U D. Hannula, N, Thorton, ur. *The swim coaching Bible.* Champaign IL: Human Kinetics, 2012; 2: 68 - 80.
47. Pease DL, Cohen CZ, Cleary PV, Mason BR., The role of the hand during freestyle. *J Biomech Eng* 2015; 137(11): 111007.
48. Richardson AB, Jobe FW, Collins HR. The shoulder in competitive swimming. *Am J Sports Med* 1980; 8(3):159-63.
49. Rushall BS. Sprint-usrpt: Training for 50-m races. U: Rushall BS, ur. *Swimming science bulletin.* San Diego, 2016; 2,15 Rushall S. Lift is not an important force in swimming propulsion. *American Swim Coaches Association.* San Diego, 2002; 6.
50. Rushall BS, Sprigings EJ, Holt LE Cappaert M. A re-evaluation of forces in swimming. *Journal of Swimming Research* 1994; 10: 6–30.
51. Sabock RJ. *The coach.* Champaing, IL: Human Kinetics, 1985.
52. Schleihau RE. A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. U: Terauds J, Bedingfield EW, ur. *Swimming III.* Baltimore, 1979; 70–109.
53. Schleihau RE. A biomechanical analysis of freestyle. *Swimming Technique* 1974;11:89-96
54. Schleihau RE. Swimming skill: A review of a basic theory. *Journal of swimming research* 1987a; 64(7): 3–8.
55. Schleihau RE. Swimming skill: A review of a basic theory (Part 2). *Journal of swimming research* 1987b; 64(8): 1–6.
56. Seifert L, Boulesteix L, Chollet D. Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. *Int J Sports Med* 2004; 25: 217 – 23.
57. Seifert L, Chollet D, Rouard A. Swimming constrains and arm coordination. *Hum Mov Sci* 2007; 26: 68–86.
58. Sein ML, Walton J, Linklater J i sur. Shoulder pain in elite swimmers: Primarily due to swim-volume-induced supraspinatus tendinopathy. *Br. J. Sports Med* 2010; 44: 105–113.
59. Sovazzo ML, Browne A, Pink M, Kerrigan J. The painful shoulder during freestyle swimming: An electromyographic cinematographic analysis of twelve muscles. Article in *The Am J Sports Med* 1991; 19(6):577-82.
60. Sweetenham, B., Atkinson, J. *Championship Swim Training.* Champaign IL: Human Kinetics, 2003.
61. Šiljeg K. Povezanost antropoloških karakteristika i specifičnih plivačkih sposobnosti s uspješnošću u plivanju. Zagreb: Kineziološki fakultet. 2012; 9. Doktorski rad.
62. Šiljeg K, Sindik J. Successfulness in the training of non-swimmers strongly depends on the coach. U: Kapidžić A, ur. *Zbornik naučnih i stručnih radova sport i zdravlje.* Tuzla, 2015; 29-34.
63. Tate A, Turner GN, Knab SE, Jorgensen C, Strittmatter A, Michener LA. Risk factors associated with shoulder pain and disability across the lifespan of competitive swimmers. *J Athl Train* 2012; 47(2):149-58.
64. Toussaint HM, Hollander AP, Berg C i sur. *Biomechanics of swimming.* U: Garrett WE, Kirkendall DT, ur. *Exercise and Sport Science.* Philadelphia, 2000; 639-60.
65. Tovin BJ. Prevention and treatment of swimmer's shoulder. *N Am J Sports Phys Ther* 2006; 1(4): 166–75.
66. Von Loebbecke A, Mittal R. Comparative Analysis of Thrust Production for Distinct Arm-Pull Styles in Competitive Swimming. *J Biomech Eng* 2012; 134(7): 074501.
67. Whitney SL, Irrgang JJ, Allegrucci M. Clinical implications of secondary impingement of the shoulder in freestyle swimmers. *J Orthop Sports Phys Ther* 1994; 20(6): 307-318.
68. Yanai T, Hay JG. The mechanics of shoulder impingement in front-crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28(5).