

LATVIJAS SPORTA PEDAGOĢIJAS AKADĒMIJA



**Germans JAKUBOVSKIS**

**PELDĒTĀJU SACENSĪBU DARBĪBAS UN ELPOŠANAS  
SISTĒMAS KVANTITATĪVO PARAMETRU PILNVEIDE**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātnes doktora (*Ph.D.*) grāda iegūšanai veselības un sporta zinātnes  
nozārē sporta pedagoģijas apakšnozarē

**Zinātniskā vadītāja  
Dr.paed., prof. Jeļena Solovjova  
Zinātniskā konsultante  
Dr.paed. Anna Zuša**

Rīga, 2023

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Sporta pedagoģijas akadēmijā no 2016. līdz 2022. gadam.

**Zinātniskā vadītāja:**

Prof. Dr.paed. **Jeļena SOLOVJOVA**

**Zinātniskā konsultante:**

Dr.paed. **Anna ZUŠA**

**Promocijas padomes priekšsēdētājs:** Prof. Dr.paed. **Juris GRANTS**

**Promocijas padomes priekšsēdētāja vietnieks:** Prof. Dr.paed. **Jānis ŽĪDENS**

**Promocijas padomes locekļi:**

Prof. Dr.paed. **Agita ĀBELE**

Doc. *Ph.D.* **Valters ĀBOLIŅŠ**

Prof. Dr.paed. **Andra FERNĀTE**

Prof. Dr.paed. **Uldis GRĀVĪTIS**

Prof. *Ph.D.* **Jaak JÜRIMÄE** (Tartu Universitāte, Igaunija)

Asoc.prof. *Ph.D.* **Anda ĶĪVĪTE - URTĀNE** (Rīgas Stradiņa universitāte)

Asoc.prof. *Ph.D.* **Artur LITWINIUK** (Jozefa Pilsudska Varšavas fiziskās izglītības universitāte, Polija)

Prof. *Ph.D.* **Arvydas STASIULIS** (Lietuvas Sporta Universitāte, Lietuva)

Asoc.prof. *Ph.D.* **Signe TOMSONE** (Rīgas Stradiņa universitāte)

Prof. *Ph.D.* **Mati PÄÄSUKE** (Tartu Universitāte, Igaunija)

Asoc. profesore Dr.med. **Zane PAVĀRE** (LSPA)

Prof. Dr.med. **Inese PONTAGA**

Prof. Dr.paed. **Žermēna VAZNE**

**Promocijas padomes zinātniskā sekretāre:** Asoc.prof. Dr.paed. **Irēna DRAVNIECE**

**Recenzenti:**

Prof. Dr.biol. **Vahur ÖÖPIK** (Tartu University, Igaunija),

Prof. Dr.psych. **Kristīne MĀRTINSONE** (Rīgas Stradiņa universitāte),

Prof. Dr.paed. **Žermēna VAZNE** (LSPA).

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 2023. gada 9. maijā plkst.15.30 Latvijas Sporta pedagoģijas akadēmijā (Rīgā, Brīvības gatvē 333) 205.auditorijā.

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LSPA zinātnes nozares bibliotēkā, Brīvības gatvē 333, Rīgā un LSPA mājaslapā [www.lspa.lv](http://www.lspa.lv)

ISBN 978-9934-520-65-5

## SATURS

<b>PROMOCIJAS DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS .....</b>	<b>4</b>
<b>1. TEORĒTISKS PĒTĪJUMS PELDĒŠANAS SPORTA IPATNĪBAS .....</b>	<b>8</b>
<b>2. PRAKTISKĀ PĒTĪJUMA METODES UN NORISE.....</b>	<b>15</b>
<b>3. IEGŪTO REZULTĀTU ANALĪZE .....</b>	<b>21</b>
<b>4. DISKUSIJA .....</b>	<b>29</b>
<b>SECINĀJUMI .....</b>	<b>33</b>
<b>REKOMENDĀCIJAS PELDĒŠANAS TRENERIEM PAREIZAS KĀJU VIĻŅVEIDA KUSTĪBU TEHNIKAS UN PILNVEIDOŠANAI.....</b>	<b>35</b>
<b>PROMOCIJAS DARBA REZULTĀTUS ATSPOGUĻOJOŠO ZINĀTNISKO PUBLIKĀCIJU SARAKSTS .....</b>	<b>35</b>
<b>DALĪBA AR ZIŅOJUMIEM STARPTAUTISKAJĀS ZINĀTNISKAJĀS KONFERENCĒS .....</b>	<b>36</b>
<b>ZINĀTNISKĀS DARBĪBAS BIOGRĀFIJA – CV .....</b>	<b>36</b>

## PROMOCIJAS DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS

Peldēšana – pasaulē populārs, attīstīts sporta veids, kas kopš 1896. gada iekļauts vasaras olimpiskajās spēlēs. Dažādu distanču veikšana pēc iespējas īsākā laikā ir galvenais šī sporta veida mērķis. Kopš 2000. gada peldēšanā rekordi sasniegti vidēji trīs reizes biežāk nekā vieglatlētikā. Līdz ar to peldētāju tehniskajai un fiziskajai sagatavotībai tiek izvirzītas arvien augstākas prasības, kas izraisa sporta speciālistu interesi un veicina zinātnisko izpēti.

Latvijas peldētāji regulāri piedalās starptautiskā mēroga sacensībās. Runājot par augstiem sasniegumiem (olimpiskās medaļas), var minēt tikai trīs sportistus: Jānis Konrads, Georgijs Kuļikovs un Arsens Miskarovs (Jākabsons, 2015; Nacionālā enciklopēdija, 2018). Mūsdienu Latvijas labākie peldētāji var lepoties ar sasniegumiem tikai junioru grupā. Lai veicinātu Latvijas peldētāju sniegumu sacensībās ir nepieciešams meklēt jaunas treniņu metodes un līdzekļus.

Zinātnisks skatījums uz peldēšanas tehnikas uzlabošanu noteikti var dot Latvijas peldētājiem konkurences priekšrocības. Pētnieki un analītiķi lielu uzmanību ir pievēršusi pasaules un Eiropas peldēšanas čempionātu finālistu sacensību darbībām, tehniskās sagatavotības paaugstināšanas problēmai un rezultātu uzlabošanas iespējām (Craig & Pendergast, 1979; Хальянд, Тамп & Каал, 1986; Kennedy, Brown, Chengalur & Nelson, 1990; Arellano, Brown, Carpaert & Nelson, 1994; Thompson, Haljand, Cooper & Palfrey, 2000; Cossor & Mason, 2001; Клешнев, 2001; Tourny-Chollet, Chollet, Hogie & Pappardopoulos, 2002; Hellard, Dekerle, Avalos, Caudal, Knopp & Hausswirth, 2008; Robertson, Pyne, Hopkins & Anson, 2009; Скирене & Зуозене, 2009; Скирене, 2010; Mytton, Archer, StClair & Thompson, 2014; Veiga, Cala, Frutos & Navarro, 2014; Skyriene, 2016), savukārt Latvijas peldēšanā, nekas līdzīgs nav izdarīts.

Pēdējos gados peldēšanas sacensību rezultātu vislielākā izaugsme ir novērota saistībā ar zemūdens posmu. Sporta zinātnes pētnieki, kuri ir aktualizējuši šo tēmu, vienbalsīgi izsakās: “Zemūdens daļa – pati ātrākā sacensību distances daļa, kuras rezultāts visvairāk iespaido sacensību rezultātu jebkurā distancē, jebkurā peldēšanas veidā un abiem dzimumiem.” (Arellano et al., 1994; Colman, Persyn & Ungerechts, 1999; Cossor & Mason, 2001; Blanksby, Nicholson & Elliot, 2002; Smith, Esau, Norris & Bidrmann, 2002; Ruschel, Araujo, Pereira & Roesler, 2007; Collard & Oboeuf, 2009; Collard, Gourmelin & Schwob, 2013; Veiga, Roig & Gómez-Ruano, 2016; Shimojo, Naraa, Babaa, Ichikawaa, Ikeda & Shimoyama, 2019).

Zemūdens daļas posma veikšanai ir veltīti vairāki pētījumi. Tajers & Hejs (1984) paziņoja, ka kopējais zemūdens posmu attālums 100 m peldēšanas distancē ir līdz 33%. Lielākā daļa pētījumu ir par kāju zemūdens viļņveida kustību tehniku un biomehāniku (Литвинов & Фоменко, 2005; Gavilán, Arellano & Sanders, 2006; Arellano, Terrés-Nicoli & Redondo, 2006; Zamparo, Vicentini, Scattolini, Rigamonti & Bonifaci, 2012; Hochstein & Blickhan, 2011, 2014; Atkison, Dickey, Dragunas & Nolte, 2014; Higgs, Pease & Sanders, 2015; Yamakawa et al., 2017; Wadzyk, Nosiadek, & Staszkiwicz, 2017; Wadzyk, Staszkiwicz, Zegler & Kryst, 2021). Zemūdens posma veikšanas efektivitāte ir cieši saistīta ar peldētāju spējam ātri ieelpot 2 - 3 litrus gaisa un aizturēt elpu lai viļņveidā kustināt kājas zem ūdens pēc starta lēciena un katra pagrieziena visas zemūdens distances garumā. To nosaka peldētāja speciālā fiziskā sagatavotība, elpošanas sistēmas īpatnības un sportista vecums -(Садовников, 1979; Солопов, 1988; Bulgakova & Makarenko, 1996; Мосунов, 1998; Булгакова, 2001; Григонене & Скирене, 2006; Зуозене, Скирене, Кавалаяускас, Григонене & Печюнас, 2007; Edwards & Walker, 2009; Диверт & Кривошеков, 2013; Кривошеков, Диверт, Мельников, Водяницкий & Гиренко, 2013; McCabe et al., 2015; Нарскин, Мельников & Врублевский, 2016).

Peldētāju elpošanas sistēmas darbības īpatnības ir plaši aprakstītas zinātniskajā literatūrā (Абрамов, 1964; Солопов, 1988; Wakayoshi, D'Acquisto & Carpaert, 1995;

Cardelli, Lerda & Chollet, 2000; Wells, Plyley, Thomas, Goodman & Duffin, 2005; Pedersen & Kjendlie, 2006; Wylegala, Pendergast, Gosselin, Warkander & Lundgren, 2006; Kilding, Brown & McConnell, 2010; Диверт & Кривошеков, 2013, 2017; McCabe et al., 2015; do Couto, Franken & de Souza Castro, 2015). Mazāk pētījumu ir par elpošanas sistēmas parametriem, kuriem var būt saistība ar efektīvu zemūdens posma veikšanu (Dybinska, Kucia-Czyszczonek, Kaca, Staron & Chodiniow, 2012; Priya, 2014).

Trūkst eksperimentālu pētījumu, kuros būtu dotas atbildes, uz šādiem jautājumiem: kā atšķiras Latvijas peldēšanas čempionātu un Eiropas čempionāta finālistu sacensību darbību parametri? Kādi ir kāju zemūdens viļņveida kustību kinemātiskie un biomehāniskie rādītāji? Kādās atšķirības ir dažādās kvalifikācijas peldētājiem? Kāds ir Latvijas peldētāju elpošanas sistēmas attīstības līmenis? Vai starp sacensību rezultātiem (FINA punkti) un elpošanas sistēmas parametriem pastāv sakarības? Vai junioru vecuma peldētāju fiziskā sagatavotība ir pietiekama, lai efektīvi pārvarētu zemūdens posmus? Kā elpošanas muskulatūras treniņš ietekmē juniora vecuma peldētāju ieelpas muskuļu spēku un sacensību rezultātus? u.c. Īpaši aktuāli šie jautājumi ir mūsdienās, kad Latvijas peldētāju sasniegumi starptautiskajā mērogā nav salīdzinājumi ar kaimiņ valstu rezultātiem. Ņemot vērā šī jautājuma aktualitāti, promocijas darbā tika veikts pētījums, kura rezultāti, iespējams, palīdzēs Latvijas peldētājiem sasniegt savu labāko rezultātu, uzlabojot elpošanas sistēmas darbību, elpas aiztures spēju un zemūdens posma peldēšanas efektivitāti.

**Pētījuma objekts:** peldētāju speciāla fiziskā, tehniskā sagatavošana un sacensību darbība.

**Pētījuma priekšmets:** peldētāju sacensību darbības un elpošanas sistēmas parametru pilnveides ietekme uz sacensību rezultātu.

**Pētījuma subjekts:** Latvijas pieaugušie peldētāji (18 +), Latvijas juniori (16 - 17 g.) un 2016. g. Eiropas čempionāta finālisti.

**Pētījuma mērķis:** Elpošanas sistēmas parametru attīstošu vingrinājumu kompleksa modificēšana, to ietekmes izvērtējums uz zemūdens posma veikšanas efektivitāti un sacensību darbību, kā arī rekomendāciju izstrāde peldēšanas treneriem peldētāju kāju zemūdens tehnikas uzlabošanai.

**Hipotēze:** Ja peldētāju specialajā fiziskajā sagatavošanā tiks pielietots modificēts elpošanas sistēmas parametru attīstošs vingrinājumu komplekss, tad pilnveidosies zemūdens posma veikšanas efektivitāte, kas savukārt uzlabos distances veikšanas laiku peldēšanas sacensībās.

#### **Uzdevumi:**

1. Teorētiski izpētīt peldētāju sacensību darbības veidojošos un elpošanas sistēmas parametrus un noteikt to ietekmi uz sacensību rezultātu peldēšanā.
2. Izpētīt Latvijas peldēšanas čempionātu finālistu sacensību darbību parametrus un salīdzināt tos ar Eiropas čempionāta finālistu parametriem.
3. Izpētīt un salīdzināt Latvijas pieaugušo (18 +) un junioru (16 - 17 g. v.) peldētāju kāju zemūdens viļņveida kustību kinemātiskos raksturlielumus un izstrādāt rekomendācijas peldēšanas treneriem peldētāju kāju zemūdens viļņveida kustību tehnikas pilnveidošanai 100 m distancē.
4. Izpētīt Latvijas peldētāju elpošanas sistēmas parametrus un to likumsakarības ar sacensību rezultātiem.

5. Modificēt un praksē aprobēt peldētāju elpošanas sistēmas parametru attīstošu vingrinājumu kompleksu un noteikt tā ietekmi uz sacensību rezultātu.

**Pētījuma metodes:**

1. Speciālās literatūras, zinātnisko pētījumu datu analīze un apkopojums.
2. Kinematogrāfija (sacensību darbības un peldēšanas tehnikas).
3. Dokumentu analīze/ sacensību darbības analīze.
4. Spirometrija.
5. Pedagoģiskais eksperiments.
6. Matemātiskās statistikas metodes.

**Pētījuma veids:** Kvantitatīvs eksperimentāls pētījums.

**Pētījuma metodoloģiskais pamatojums:**

1. Peldēšanas sacensību darbības veidojošie parametri – reakcijas laiks uz starta signālu, starta posms (distances pirmie 15 metri), “tīrās peldēšanas” posms, pagrieziena un finiša posms (5 metri) (Хальянд, Тамп & Каал, 1986; Kennedy, Brown, Chengalur & Nelson, 1990; Arellano et al., 1994; Cossor & Mason, 2001; Blanksby et al., 2002; Smith, Esau, Norris & Bidrmann, 2002; Скирене & Зуозене, 2009; Скирене, 2010; Skyriene, 2016).

2. Peldēšanas sporta biomehānikas un hidromehāniskais pamatojums, kas atklāj fizisko spēku mijiedarbību – spēkus, kas virza peldētāju uz priekšu un spēkus, kas kavē peldētāja ķermeņa kustības ūdenī (Issurins, 1977; Оноприенко, 1981; Hay, 1993; Vorontsov & Rumyantsev, 2000 a,b; Toussaint, 1988, 2001; Vennell, Pease & Wilson, 2006; Arellano, Terrés-Nicoli & Redondo, 2006; Seifert; Коломогоров, 2008; Vantorre, Chollet & Seifert, 2014; Van Houwelingen, 2018).

3. Hidrodinamikas likumi, kas izskaidro, ka: kāju zemūdens viļņveida kustību laikā neveidojas viļņu pretestība un frontālās pretestības koeficients ir 10 - 20 % mazāks, salīdzinājumā ar peldēšanu uz ūdens virsmas (Videler, 1993; Little & Blansky, 2000; Toussaint, 2001; Yamakawa et al., 2017), ar kājām var radīt lielākus hidrodinamiskos spēkus, nekā ar rokām (Voroncov & Rumjancev, 2000; Gavilán, Arellano & Sanders, 2006; von Loebbecke, Mittal, Mark & Hahn, 2009; Hochstein & Blickhan, 2014).

4. Kāju zemūdens viļņveida kustību kinemātika parādīja, ka peldēšanā kāju zemūdens viļņveida kustības ietver divas fāzes: kāju īrienu uz leju un kāju īrienu uz augšu (Schönborn, 1998; Arellano, Pardillo & Gavilan, 2002; Psycharakis & Sanders, 2009; Atkison et al., 2014; Ide et al., 2017). Saskaņā ar biomehānikas likumiem – jo lielāks ir negatīvais leņķis, jo efektīvāka būs virzīšanās uz priekšu, ceļot kājas augšup. Tomēr anatomiskais ceļa locītavas izliekuma leņķis nedrīkst pārsniegt noteiktu lielumu (Shimojo et al., 2002; Литвинов & Фоменко, 2005). Kāju zemūdens viļņveida kustības tehnika ietekmē sacensību rezultātu (Ungerechts, Daly & Zhu, 1998; Arellano et al., 1999; Arellano, Terrés-Nicoli & Redondo, 2006; Hellard et al., 2008; Zamparo, Vicentini, Scattolini, Rigamonti & Bonifaci, 2012; de Jesus et al., 2013; Atkison, Dickey, Dragunas & Nolte, 2014; Pacholak, Hochstein, Rudert & Brucker, 2014; Hochstein, Pacholak, Brücker, Siebert, & Blickhan, 2014; Connaboy, Naemi, Brown, Psycharakis, McCabe, Coleman & Sanders, 2015; Higgs, Pease & Sanders, 2015; Solovjova, 2017; Wadzyk, Nosiadek & Staszkiwicz, 2017; Ruiz-Navarro et al., 2021).

5. Elpošanas sistēmas veidojošo parametru, ieelpas un izelpas muskuļu apraksts, ka arī elpošanas patterna raksturojums. Cilvēka elpošanas sistēmas kapacitāte nosaka skābekļa daudzuma piegādi skeleta muskulatūrai (Grants, 1973; Тевс, 1986; Таиванс, 1997; Van de Graff, Fox, 1998; Sheel, 2002; Kibble & Halsey, 2009; Aberberga-Augškalne & Koroļova, 2007; Clemente, 2007; Scott & Fong, 2009; Mattson, 2009; Kibble & Halsey, 2009; Saladin,

2012; Rhoades & Bell, 2013; Ionescu, 2013; Molkov, Zoccal, Baekey, Abdala, Machado, Dick, Paton & Rybak, 2014; Zoccal, 2015).

6. Peldēšana labvēlīgi ietekmē elpošanas sistēmas attīstību, kā rezultātā veidojas hipoksijas tolerance. Peldēšanas laikā mainās elpošanas patterns, kas paaugstina ieelpas muskuļu spēku un maksimālo ieelpas ātrumu, kas ietekmē peldētāja rezultātu sacensības (Бреслав, 1975; Садовников, 1979; Cordain, Tucker, Moon & Stager, 1990; Солопов, 1988; Bulgakova & Makarenko, 1996; Мосунов, 1998; Булгакова, 2001; Wells, Pyley, Thomas, Goodman & Duffin, 2005; Wylegala et al., 2006; Colantonio, Barros & Kiss, 2008; Григонене & Скирене, 2006; Зуозене et al., 2007; Bougault et al., 2009; Kilding, Brown & McConnell, 2010; Verges, Renggli, Notter & Spengler, 2009; Erlichman et al., 2010; Диверт & Кривошеков, 2013; Кривошеков et al., 2013; Priya, 2014; McCabe, Sanders & Psycharakis, 2015; Нарскин, Мельников & Врублевский, 2016). Atziņas par peldētāju elpošanas sistēmas specifiku un tās īpatnību raksturojumi.

7. Ar jogas prakses elpošanas vingrinājumiem, var attīstīt ieelpas muskuļu spēku un maksimālās ieelpas ātrumu, kā arī palielināt ieelpas aiztures laiku (Edwards & Walker, 2009; Кривошеков et al., 2013; Hakked et al., 2017; Фролов, Ермолаева & Маничев, 2021), kas savukārt tieši ietekmē sacensību rezultātus peldēšanā (Абрамов, 1964; Солопов, 1988; Bulgakova & Makarenko, 1996; Мосунов, 1998; Булгакова, 2001; Григонене & Скирене, 2006;).

8. Sportistu ilglaicīgās adaptācijas teorija izskaidro, ka morfo funkcionālas izmaiņas organismā rodas pakāpeniski, ilgstošas iedarbības ietekmē – daudzkārt atkārtojot speciālas darbības, kas skar dažādas organisma sistēmas un ir vērsta uz peldētāju speciālās sagatavotības īpatnībām (Солопов, 1988, 2004; Booth & Thomason, 1991; Bougault et al., 2009; Диверт & Кривошеков, 2013; Кривошеков и др., 2013; Priya, 2014; McCabe, Sanders & Psycharakis, 2015; Costa, Belasekaran, Vilas-Botas & Barbosa, 2015; Нарскин и др., 2016; Платонов, 2004; 2017).

#### **Pētījuma zinātniskā novitāte:**

Promocijas darba ietvaros veikts detalizēts kvantitatīvs pētījums par pieaugušo un junioru vecuma peldētāju sacensību darbību, Latvijas peldētāju sacensību darbības veidojošie parametri salīdzināti ar 2016. g. Eiropas čempionāta finālistu parametriem. Veikta Latvijas pieaugušo (18+) un junioru (16 - 17 g.) vecuma peldētāju padziļinātā elpošanas sistēmas pārbaude. Rezultātā tiek pierādītas sacensību darbības, elpošanas sistēmas un kāju viļņveida zemūdens kustību tehnikas parametru likumsakarības ar sacensību rezultātu peldēšanā.

#### **Pētījuma praktiskā nozīme:**

Sacensību darbības veidojošo parametru teorētiskais pamatojums, kas dos iespēju treneriem objektīvi novērtēt un koriģēt peldētāju sagatavošanas procesu.

Izstrādātās kāju zemūdens viļņveida kustību tehnikas pilnveidošanas rekomendācijas, kas ļaus paaugstināt zemūdens daļas veikšanas efektivitāti un sacensību rezultātu sporta peldēšanā.

Modificēts un aprobēts elpošanas sistēmas parametru attīstošs vingrinājumu komplekss, kas ļaus paaugstināt zemūdens daļas posma veikšanas efektivitāti un sacensību rezultātu sporta peldēšanā.

#### **Promocijas darba aizstāvēšanai izvirzītās tēzes:**

1. Sporta peldēšanā ātrākais sacensību distances veikšanas posms ir pirmie 15 metri pēc starta, tad seko pagriezienu posms (5+15 m). Tā veikšanas ātrums ir atkarīgs no kāju zemūdens viļņveida kustību tehnikas efektivitātes.

2. Kāju zemūdens viļņveida kustību efektivitāti nosaka: ķermeņa un kāju kustību hidrodinamika un biomehānika.
3. Zemūdens posmu veikšanas efektivitāte ir atkarīga no elpošanas sistēmas attīstības un ieelpas muskulatūras spēka.
4. Pastāv korelācijas starp sacensību rezultātu un elpošanas sistēmas parametriem – maksimālo ieelpas ātrumu pieaugušajiem vīriešiem un forsēto ieelpas tilpumu vienā sekundē junioru grupā.
5. Modificētā elpošanas sistēmas parametru attīstošā vingrinājumu kompleksa iedarbība uz elpošanas muskulatūru ļaus paātrināt zemūdens distances daļas veikšanu un uzlabot sacensību rezultātu peldēšanā.

**Pētījuma robežas:** Darbā noteiktās pētījuma robežas ietver sacensību un mācību-treņu procesu sporta peldēšanā. Tika pētīta sacensību darbības veidojošo parametru ietekme uz rezultātu sporta peldēšanā, 100 metru distancēs, Latvijas čempionātu finālos no 2018. līdz 2020. gadam, iegūtie rezultāti tika salīdzināti ar 2016. gada Eiropas čempionāta peldēšanas finālistu parametriem. Ņemot vērā šos rezultātus, noteikts, kādos sacensību veidojošos parametros Latvijas sportisti zaudē Eiropas elites peldētājiem un kādā veidā var optimizēt šos parametrus. Promocijas darbā ir noteikti elpošanas sistēmas parametri, tiek noteikta to korelācija ar sacensību rezultātu. Pētījuma gaitā ir modificēts un aprobēts elpošanas sistēmas parametru attīstošs vingrinājumu komplekss un izstrādātas rekomendācijas peldēšanas treneriem kāju zemūdens viļņveida kustību tehnikas pilnveidošanai. Darbā ir veikts pedagoģiskais eksperiments 16 - 17 gadus veciem peldētājiem.

## 1. TEORĒTISKS PĒTĪJUMS PELDĒŠANAS SPORTA IPATNĪBAS

Promocijas darba ievadā ir pamatota pētnieciskā darba aktualitāte un problēma, formulētas zinātniskās kategorijas, norādot pētījuma zinātnisko novitāti, teorētisko un praktisko nozīmi, pētījuma teorētiski metodoloģisko pamatojumu, izvirzītās aizstāvēšanai tēzes un noteiktās pētījuma robežas. Pētījuma teorētisko daļu veido septiņas apakšnodaļas.

Promocijas darba teorētiskās daļas pirmajā apakšnodaļā **“1.1. Īsa sporta peldēšanas vēsture un attīstības dinamika pasaulē un Latvijā”** tiek veikta peldēšanas sporta attīstības vēsture un dinamika.

Olimpiskās sacensības baseinā notiek 50 līdz 1500 metru distancēs. Peldētāji sacenšas 35 disciplīnās. Pastāv četri oficiāli peldēšanas veidi: tauriņstils, krauls uz muguras, krauls uz vēdera un brass, kā arī visus četru veidus ietverošā kompleksā peldēšana.

Analizējot Latvijas un tās kaimiņvalstu peldēšanas biedru statistiku, jāsecina, ka tā ir aptuveni līdzvērtīga – Igaunijā un Latvijā ir ap 1500 reģistrētu (licencētu) peldētāju, kas piedalās augstāka vai zemāka līmeņa sacensībās, bet Lietuvā, kur nepastāv sportistu licencēšana, tiek uzskatīts, ka sporta skolās un klubos trenējas ap 3 500 sportistu. Lai gan Latvijas peldētāji regulāri piedalījušies starptautiskās sacensībās, runājot par augstiem sasniegumiem (olimpiskās medaļas), patlaban var atzīmēt tikai trīs sportistus: Jānis Konrads, Georgijs Kuļikovs un Arsens Miskarovs (Jākabsons, 2015; Nacionālā enciklopēdija, 2018).

Analizējot literatūras avotus un pētīt peldēšanas sporta hidrodinamiku un biomehāniku, izveidota daļa **“1.2. Sporta peldēšanas biomehānika un hidrodinamika”**.

Ūdens pretestība, kuru pieredz peldētājs, ir viens no visspēcīgākajiem faktoriem, kas ietekmē atlēta rezultātu jebkuras distances veikšanā. Peldēšanas rādītājus var uzlabot, samazinot pretestību vai optimizējot kustību. Tāpēc kopš peldēšanas sporta veida iekļaušanas olimpisko disciplīnu sarakstā šī jautājuma izpēte vēl joprojām nav zaudējusi aktualitāti.



Spēki, kas darbojas uz peldētāju ūdenī:

$G$  – gravitācijas spēks;

$F_t$  – vilcējspēks, ko rada peldētāja kustības;

$F_a$  – cēlējspēks (Arhimēda likums);

$F_{in}$  – inerces spēks, kas rodas, paātrinot un bremzējot peldētāja ķermeni;

$F_{tr}$  – berzes spēks;

$F_b$  – ūdens frontālās pretestības spēks.

$F_{tv}$  – virpuļa veidošanās bremzēšanas spēks (un viļņu veidošanās spēks, kas darbojas tajā pašā virzienā).

Lai pārvietotos uz priekšu ūdenī, peldētājs ražo enerģiju ( $P_s$ ), cikliskām kustībām pārvietojot rokas un kājas. Peldētāja darbības optimizēšanai ir nepieciešama organisma mehānisko (muskulu) jaudu maksimizācija un ūdens kustību dēļ radušos jaudu zudumu minimizācija. Priekšnoteikumi un paņēmieni, lai racionālāk pārvietotos ūdenī, ievērojami atvieglos peldēšanas tehnikas izpratni.

1. Nosacījumu sistēma, kuros notiek peldētāja kustība, ir stingri specifiska.

2. Tā kā ūdenim ir augsts blīvums, peldētāja kustībām ir jābūt izteikti spēcīgam nodrošinājumam.

3. Tā kā atbalsts ir kustīgs, nepieciešama speciāla piepūļu organizācija.

4. Peldētāja kustībām ir jābūt ekonomiskām.

Šajā sakarībā:

1) ķermenim ir jābūt aptveramam ar ūdens plūsmu visā kustību ciklā;

2) darba kustības jāveic ar paātrinājumu;

3) uzsāktajās kustībās nedrīkst būt nevienas pauzes vai apstāšanās;

4) visefektīvākais ir virzītāja kontakts ar ūdens nekustīgo masu;

5) virzītāja stāvoklim jābūt optimālam attiecībā pret peldētāja veikto kustības virzienu;

6) ja pārējie apstākļi ir vienādi, "horizontālajam komponentam" vajadzētu būt nozīmīgākam nekā citiem;

7) lai spētu radīt lielāku vilcējspēku, darba plakņu laukumam ir jābūt lielākam un novietotam perpendikulāri.

Kustības brīdī cēlējspēki ir lielāki nekā gremdējošie spēki un virzošie spēki ir lielāki nekā bremzējošie spēki. Ir viegli pamanīt, cik liela nozīme peldēšanā ir pēdu kustībām. Patiesībā peldēšanā pēda ir galvenā kājas daļa. Kāju kustības palīdz uzturēt atbalstu, kā arī radīt vilcējspēku.

Izpētot īriena efektivitāti, ir jāņem vērā ne tikai rokas atsevišķu daļu kustību ātrums, bet arī to forma un šķērsriezuma laukums, projicējot uz vertikālo šķērsplakni (vidējais šķērsriezums). Piemēram, apakšdelms pēc formas pielīdzināms parastai plāksnei, bet plecs un augšdelms – cilindram vai saīsinātam konusam. Ja aplūkot īriena vidējo, visefektīvāko daļu, izrādās, ka plauksta kustas vidēji 2–3 reizes ātrāk nekā augšdelms. Līdz ar to ūdens pretestība plauksta kustībai var būt gandrīz 10 reizes lielāka nekā pretestība augšdelma kustībai.

Promocijas darba teorētiskās daļas trešajā apakšnodaļā "**1.3. Sacensību darbību veidojošie parametri**" tiek veikta izpēte par sacensību darbības veidojošajiem parametriem.

Neatkarībā no sacensību nolikuma un baseina garuma zinātniskajā literatūrā (Kennedy et al., 1990; Arellano et al., 1994; Cossor, Mason, 2001; Blanksby et al., 2001; Smith et al., 2002; Скирине & Зуозене, 2008, 2009) pieņemts izdalīt šādus sacensību distances parametrus: reakcija uz starta signālu, kam seko lēciens no starta paaugstinājuma, peldot kraulā uz krūtīm, brasā un tauriņstilā, vai starts no ūdens peldējumos uz muguras. Pēc kāju atrašanās no starta paaugstinājuma sākas lidojuma fāze, kura beidzas, kad sportists pieskaras ūdens virsmai. Pēc ķermeņa pilnas iegremdēšanās ūdenī sākas zemūdens daļa. Pēc starptautiskajiem noteikumiem pirmos 15 metrus pēc starta ir atļauts peldēt zem ūdens, kājas kustinot viļņveidā, izņemot

peldējumus brasā, kur sportisti lieto “garo īrienu”. Pēc sportista parādīšanās virs ūdens, sakas “tīrās peldēšanas” posms, kad peldētājs izpilda cikliskas kustības ar rokām un kājām atbilstoši izvēlētajam peldēšanas veidam, tad seko pagrieziens – pieci metri līdz baseina sienai, pagrieziens un 15 metri pēc atstumšanās no baseina sienas, kur atkal atļautas kāju viļņveida zemūdens kustības. Pēc sportista parādīšanās virs ūdens, sākas otrais “tīrās peldēšanas” posms; kustību biežums un īriena garums ir atkarīgi no peldēšanas veida un peldētāja individuālajām īpašībām. Distances pēdējos piecus metrus līdz pieskārienam pie baseina sienas pieņemts uzskatīt par finiša posmu.

Pēdējos gados vislielākā interese pievērsta zemūdens daļas veikšanas analīzei. Vairāki pētnieki dažādos veidos ir secinājuši, ka tieši šī sacensību daļa būtiski ietekmē sacensību rezultātu jebkurā peldēšanas veidā kā vīriešiem, tā arī sievietēm. Un visi pētnieki, kas jebkad aplūkojuši šo tēmu, ir vienisprāt: “Zemūdens daļa – pati ātrākā sacensību distancē daļa, kuras rezultāts visvairāk ietekmē sacensību rezultātu jebkurā distancē jebkurā peldēšanas veidā un abiem dzimumiem.” Matemātiski aprēķinot, pierādīts, ka, nirstot visus 15 metrus, kā atļauts noteikumos, visa baseina garuma 100 metru distancē procentuālā daļa būs:  $15 \times 100 / 50 = 30\%$  50 metru garā baseinā un  $15 \times 100 / 25 = 60\%$  25 metru baseinā.

Frontālās pretestības esamību nosaka cilvēka ķermeņa hidrodinamiskā forma. Lai maksimāli samazinātu frontālo pretestību, ir nepieciešams izstiept abas rokas augšup un piespiest pie galvas, kā arī novietot vienu uz otra apakšdelmus (Hochstein, 2013; Solovjova, 2017). Tādējādi peldot ir ļoti zems frontālās pretestības koeficients (Fish, 1993, 1998). Kustībai ūdenī ir optimāla tāda forma, kurai ķermeņa gareniskā un šķērseniskā izmēra attiecība ir 6:1. Lai pietuvotos šiem apstākļiem, ūdens plūsmai labi jāaptver peldētāja ķermenis, ķermenim jābūt izstieptam attiecībā pret garenisko asi, jāieņem salīdzinoši augsts un dinamiski līdzsvarots stāvoklis. Trieciena leņķis ir 3–5° (Макаренко, 1983).

Viļņveida peldēšana zem ūdens, kas zināma arī kā tauriņveida vai delfīnveida sitiens, ir zemūdens kustības tehnika, kas tiek lietota sacensību peldēšanā. Daži peldētāji peld ātrāk zem ūdens nekā uz ūdens virsmas. Tas var šķist pārsteidzoši, jo zem ūdens ķermeni uz priekšu virza tikai kājas, bet, atrodoties uz virsmas, peldētājs pārvietojas, kustinot visas četras ekstremitātes (Maglischo, 2003). Distances zemūdens posms ir peldēšanas sacensību daļa, un tieši šajā daļā sportisti demonstrē vislielāko ātrumu, jo nirstot ķermenis nerada viļņveida pretestību un peldētājs šajā brīdī atrodas optimālā hidrodinamiskā pozīcijā.

*Toussaint* (2001) paziņoja, ka “ātrumu ūdens virsmā ierobežo virsmas viļņu veidošanās, kas izraisa viļņu pretestību. Kad peldētājs pārvietojas pa virsmu, ūdens tiek izgrūsts viņa virzienā. Viļņi rodas spiediena maiņas dēļ ap peldētāju esošās ūdens plūsmas atšķirīgo ātrumu ietekmē. Palielinoties ātrumam, “frontālais vilnis” ar palielinātu izmēru un inerci nevar pietiekami ātri plūst un neļauj peldētājam palielināt ātrumu.”

Voroncov un Rumjancev (2000a) paziņoja, ka ar kājām var radīt lielākus hidrodinamiskos spēkus nekā ar rokām, jo:

- a) liela piedziņas virsma;
- b) nav kāju reverso kustību darba daļas laikā;
- c) kāju muskuļi ir daudz spēcīgāki nekā roku muskuļi.

Kāju zemūdens viļņveida kustība jāveic kā pātagai līdzīga kustība, maksimāli palielinot astes impulsa pārnēsi (t. i., ķermeņa viļņu ātrumu) un vertikālo pirkstu ātrumu. Augšupejošās kustības ilgums ir jāsamazina, un tā nav jāizmanto kā atjaunošanās fāze. Lai optimizētu kāju īrienu uz augšu, gurni jāizstiepj pirms ceļgalu saliekšanas, izvairoties no pirkstu horizontālas pārvietošanās kāju īriena uz augšu pēdējā fāzē. Šajā fāzē īpaša uzmanība jāpievērš ceļa un gūžas leņķiskajam ātrumam. Ir iespējams izmantot kāju zemūdens viļņveida kustības laikā uzkrāto cīpslu elastīgo enerģiju, samazinot pārejas ilgumu starp fāzēm (Arellano et al., 2002; Loebbecke et al., 2009; Atkison et al., 2014; Yamakawa et al., 2017).

Veicot, kāju zemūdens viļņveida kustības jāņem vērā kāju īrienu biežumu. Augstāks biežums nenozīmē lielāku pārvietošanas ātrumu. Kāju īriena frekvence ir specifiska katram peldētājam, un ir jāatrod tā, kas vislabāk atbilst katram indivīdam. Pārvietošanas ātrumu var uzlabot, palielinot veikšanas attālumu par vienu kustību, vienlaikus saglabājot peldētāja vēlamo kāju īriena biežumu. Viena kāju īriena amplitūdai jābūt atkarīgai no gūžas, nevis ceļgala kustību diapazona. Potītes locītavas kustību ierobežojums izraisa kompensējošas kustības, kas negatīvi ietekmē kāju zemūdens viļņveida izpildi. Lai uzlabotu kāju zemūdens viļņveida kustību efektivitāti, jāpalielina potītes plantāro flektoru un iekšējo rotatoru spēks (Atkison et al., 2014; Shimojō et al., 2021; Wądrzyk et al., 2019). Visbeidzot, papildus iepriekš aprakstītajiem galvenajiem faktoriem jāņem vērā arī dažas individuālas īpatnības, lai izvairītos no vienādas kāju zemūdens viļņveida kustību tehnikas uzspiešanas visiem peldētājiem. Apkopojot visu minēto: lai efektīvāk pārvietotos, cilvēks lieto sitienu ar kājām gan augšup, gan lejup. Ātrumu ierobežo: nepietiekama potīšu, ceļa, gūžu locītavas elastība, kādēļ cilvēks, kustinot kājas uz leju, spēj radīt tikai vienu virpuli.

Efektīvai zemūdens daļas veikšanai nepieciešama hidrodinamiska ķermeņa pozīcija, efektīva kāju darbība, kā arī spēja aizturēt elpošanu.

Promocijas darba teorētiskās daļas ceturtajā apakšnodaļā **“1.4. 100 m distances raksturojums”** atsevišķi analizēta 100 metru distance. Lai sasniegtu augstus rezultātus 100 metru distancē, nepieciešams noturēt kustību augstu tempu – ap 60 kustībām minūtē. Peldot ar ātrumu 2 m/s, ielpai atvēlētas tikai 0,2 s, citādi tiek apgrūtināts tehniskais izpildījums (Солопов, 1988). Sirdsdarbības frekvence sasniedz maksimālos rādītājus – 190–210 sit./m.

Muskuļu darbības enerģētisko nodrošinājumu var noteikt pēc enerģētiskiem resursiem, kā arī organisma spējām piegādāt skābekli muskuļiem (Solovjova, 2001; Maglischo, 2006; Colantonio et al., 2008). Atkarībā no muskuļu darbības enerģētiskā nodrošinājuma rakstura ir pieņemts izdalīt trīs organisma energoprodukcijas mehānismus:

1. Aerobais mehānisms
2. Anaerobais glikolīzes mehānisms
3. Anaerobais alaktacīdais mehānisms

Zinātniskajā literatūrā aerobās /anaerobās enerģijas ietekmi 100 metru distancē dažādi autori aprakstījuši atšķirīgi: Platonov (2004) paziņoja, ka aerobās un anaerobās enerģijas avotu ieguldījums ir attiecīgi 20 un 80%, savukārt Hellard et al. (2008) uzskata, ka anaerobā alaktāta devums ir ~18%, anaerobā laktāta ~31%, aerobās sistēmas ieguldījums ~51%. J. Ribeiro et al. (2012) pētījumā atklāja, ka enerģijas avotu relatīvais īpatsvars bija: aerobā veidā iegūta enerģija – 41,61%, anaerobais laktāts – 34,78% un anaerobais alaktāts – 23,61%. Rodrigues un Mader (2003) paziņoja, ka aerobu procesu devums 100 m distancē ir 54,1–61,4%. Capelli et al. (1998) uzskata, ka aerobu procesu īpatsvars 100 m distancē ir 33–46,5%. Visi autori ziņo, ka anaerobu procesu īpatsvars ir atkarīgs no sportista vecuma un specializācijas; īso distanču peldētājiem (50–100 m) un pieaugušajiem tas būs lielāks salīdzinājumā ar junioriem un vidējo un garo distanču peldētājiem.

Iegūtie rezultāti pierāda elpošanas sistēmas nozīmi 100 m sacensību distances veikšanā. Īpaši svarīgi pēc starta lēciena, kurā notiek strauja izelpa ar mērķi nodrošināt maksimālo sasprindzinājumu starta lēciena izpildei, ierobežotā laikā, t.i., lidojuma fāzes 0,34 sekundēs (Vilas-Boas et al., 2000; Зуозене & Скирене, 2009; Tor, Peasea & Ball, 2014), paspēt ieelpot 2–3 litrus gaisa (Солопов, 1998), lai iegūtu gaisa rezervi un atvieglotu izpeldēšanu, izmantojot Arhimēda cēlējspēku.

Promocijas darba teorētiskās daļas piektajā apakšnodaļā **1.5. Cilvēka elpošanas sistēma** tiek veikta zinātniskas literatūrās izpēte par cilvēka Elpošanas sistēma orgāniem un audiem.

Elpošana – enerģijas avots, tā ir būtiska un svarīga dzīves sastāvdaļa (Бреслав, 1985). Elpošanas sistēma ritmiski uzņem gaisu un izvada to no organisma, tādējādi apgādājot organismu ar skābekli un izdalot tā radīto oglekļa dioksīdu.

Zinātniskajā literatūrā pieņemts izdalīt divas elpošanas sistēmas zonas (*The conducting zone* un *The respiratory zone*): gaisa vadīšanas ceļus (augšējos elpceļus) un respiratorās daļas (apakšējos elpceļus).

Galvenais elpošanas orgāns ir plaušas. Plaušas sastāv no sīkajiem bronhiem, bronhiolām un alveolām (Ionescu, 2013). Zinātniskajā literatūrā norādīts, ka elpošanai izšķir divas fāzes: ieelpu un izelpu, kuru realizācijā iesaistās gan elpošanas muskulatūra, gan locītavas (Shephard, 1993; Scott & Fong, 2009; Saladin, 2012; Galeja, 2015). Savukārt izelpa ir pasīvs process. Diafragma un elpošanas muskuļi atslābst, krūškurvja tilpums samazinās, un notiek izelpa. Parasti izelpā aktīvi nepiedalās muskuļi (Бреслав, 1985; Sherwood, 2012; Saladin, 2012; Galeja, 2015). Tomēr ir gadījumi, kad izelpa kļūst par aktīvu procesu (apgrūtinātā vai pastiprinātā elpošana), piemēram, ja bronhiolas ir spazmētas (kā tas ir bronhiālās astmas gadījumā) vai sportojot.

Diafragma ir galvenais elpošanas sistēmas muskulis (Тевс, 1986; Saladin, 2012; Blugers, 2015). Diafragma (latīņu *diaphragma*) ir kupolveida muskulis, kas atdala vēdera dobumu no krūškurvja. No virspuses diafragmu klāj fascija un pleira, no apakšpuses — fascija un vēderplēve (Blugers, 2015). Diafragma nodrošina aptuveni divas trešdaļas gaisa plūsmas plaušās (Saladin, 2012).

Elpošana ir vairāku muskuļu labi organizēta darbība, tādēļ tai ir nepieciešams centrālais koordinācijas mehānisms. Elpošanas centrs – daudzlīmeņu strukturālā un funkcionālā nervu sistēma, kas automātiski regulē elpošanu. Elpošanas centrs vada elpošanas muskuļus. Elpošanu kontrolē smadzenes. Tā ir gan apzināta, kas ļauj mums pēc vēlēšanās ieelpot vai izelpot, gan neapzināts un automātisks process – lielākoties elpojam, nedomājot par to (Saladin, 2012).

Literatūras analīze apstiprina peldēšanas labvēlīgo ietekmi uz elpošanas sistēmas orgānu attīstību un ārējās elpošanas sistēmas darbību kopumā, regulāra peldēšana pozitīvi ietekmē elpas aizturēšanu un var sekmēt elpošanas rezervju uzlabošanu (Солопов, 1988, 2004; Булгакова, 2001; Bougault et al., 2009).

Peldēšana ievērojami atšķiras no visiem citiem cikliskajiem sporta veidiem. Galvenā atšķirība ir tajā, ka peldot cilvēks veic darbu horizontālā stāvoklī, bet seja parasti ir iegremdēta ūdenī, kas ievērojami apgrūtinā elpošanu. Zināms, ka ūdens spiediens uz krūškurvi ir atkarīgs no tā, cik dziļi ķermenis iegremdēts ūdenī. Iegremdēšana par 1 centimetru izraisa hidrostatiskā spiediena pieaugumu par 1 g/cm<sup>2</sup>. Krūškurvja virsma ir ap 6000–10000 cm<sup>2</sup>, 50 cm dziļumā (stāvēt līdz kaklam ūdenī), spiediens uz to ir 30–50 kg. Guļot ūdenī uz krūtīm, šis spiediens ir 18 g/cm<sup>2</sup>, bet guļot uz muguras – 10–15 g/cm<sup>2</sup> (Scott, & Fong, 2009; Mattson, 2009; Rhoades & Bell, 2013).

Tie sarežģītie refleksu mehānismi, kas nodrošina elpošanu uz sauszemes, ūdenī izrādās maz noderīgi. Peldēšanas brīdī elpošanas mehānisms ir atšķirīgs: ieelpa ir ātra un enerģiska, izelpa – aktīva un pagarināta; ieelpojot elpa tiek aizturēta; ir iespējami ritma traucējumi neparedzētu apstākļu dēļ (piemēram, ja ūdens iekļūst trahejā); nozīmīga ir elpošanas un peldēšanas tempa sakarība (Солопов, 1988).

Ir nepieciešama elpošanas sistēmas regulatīvo mehānismu pārstrukturēšana. Īpaša elpošanas režīma veidošana un nostiprināšana notiek ilgstošās apmācībās tieši peldētāja sporta treniņu laikā. Pareiza elpošanas tehnika peldēšanā ir ļoti svarīga, un tās iemācīšanās ir vissvarīgākais uzdevums, apgūstot sporta peldēšanas metodes. Pareizi saka: “Kas nemāk elpot pareizi, tas nemāk peldēt.

Kopējais elpošanas cikla ilgums, peldot ar ātrumu 0,9 m/s, vidēji ir 2,1 sekunde. Palielinoties ātrumam līdz 1,7 m/s, cikla ilgums samazinās līdz 1,5–1,8 sekundēm. Ieelpošanas fāze ilgst vidēji 0,3 sekundes, izelpas ilgums ir 1,2–1,5 sekundes. Peldētājam ir jāpaspēj ieelpot

2–3 litrus gaisa. Tātad peldētāja ieelpas tilpums nav zemāks par skrējēja, slēpotāja vai airētāja ieelpas tilpumu (Абрамов, 1964; Фарфель, 1975; Солопов, 1988, 2004).

Aerobos procesus organismā vērtē pēc šādiem rādītājiem: 1) maksimālais skābekļa patēriņš un 2) anaerobās maiņas sliekšnis. Skābekļa maksimālo patēriņu raksturo: aerobo procesu attīstības pakāpe organismā, tā maksimālā aerobā veiktspēja un vispārējā veiktspēja, un trenētība.

Intensīva fiziskā slodze peldēšanas laikā, nepieciešamība aizturēt elpu, skābekļa trūkuma veidošanās noved pie vienmērīgi pieaugošas un ilgstošas hipoksijas. Hipoksija – skābekļa trūkums, organisma zema apgāde ar skābekli, skābekļa daudzuma samazināšanās audos. Adaptīvās reakcijas, kuru mērķis ir novērst vai mazināt neatbilstošu vides faktoru izraisītās funkcionālās izmaiņas organismā, sauc par kompensācijas mehānismiem. Kompensācijas mehānismi ir daļa no organisma rezerves spēkiem. Tie ir ļoti efektīvi stabili adaptācijas formu attīstīšanai, un tā var ilgstoši uzturēt relatīvi stabili homeostāzi. Peldētāji, kuri treniņos izjūt elpošanas ierobežojumus, veido adaptācijas mehānismus hipoksijai – mainās to ārējās elpošanas un gāzu maiņas funkcijas, kas hipoksijas laikā ļauj saglabāt spēju piesātināt asinis ar skābekli plaušās.

Elpošanas darbība aprūtinā pārvietošanās efektivitāti ūdens vidē. Sprinta disciplīnu pārstāvji cenšas samazināt ieelpu skaitu, lai saglabātu augstu sacensību distances veikšanas ātrumu. Jo garāka ir distance, jo lielāks aerobo procesu ieguldījums nepieciešamās enerģijas ražošanā. Tāpēc elites peldētāji palielina elpošanas biežumu, lai organisms iegūtu nepieciešamo skābekli. Pēc starta un katra pagrieziena peldētāji ir spiesti aizturēt elpu, lai veiktu distances zemūdens posmus. Gan sievietes, gan vīrieši parasti aiztur elpu pēdējos 5–8 īrienos, tā paātrinot peldēšanas tempu pirms finiša.

Promocijas darba teorētiskās daļas sestajā apakšnodaļā **“1.6. Elpošanas sistēmas novērtēšanas metodes, elpošanas sistēmas parametri un to saikne ar sacensību rezultātu”** tiek veltīta elpošanas sistēmas novērtēšanas metodēm. Zinātniskajā literatūrā lasāmas atziņas par dažādām elpošanas sistēmas novērtēšanas metodēm: iztaujāšanu, apskati, perkursiju, auskultāciju, kā arī instrumentālo un funkcionālo testu (Grants, 1973; Тебс, 1986; Таиванс, 1997; Kible & Halsey, 2009).

Promocijas darbā no visizplatītākajām un visbiežāk lietotajām ārējās elpošanas funkciju pētīšanas metodēm izvēlēta spirometrija. Spirometrija (spiro ‘elpošana’, metrija ‘mērīšana’) ir plaušu dzīves ietilpības un tās elpošanas apjoma noteikšanas metode. Šī metode ļauj novērtēt izelpotā gaisa apjomu mierīgā un forsētā elpošanā, ieelpas un izelpas parametrus: spēku un ātrumu. Šie rādītāji ir atkarīgi no testējamās personas dzimuma, vecuma, auguma un fiziskās attīstības. Lai novērtētu elpošanas funkciju, konstatētu plaušu apjomu un VC jāsalīdzina ar paredzētajiem lielumiem.

Publicētajos pētījumos noteikti vairāki elpošanas funkciju parametri, promocijas darbā ietvaros liela uzmanība tiek pievērsta:

FVC – forsētā vitālā kapacitāte (šeit mērīta forsētā izelpā) – tas ir maksimālais gaisa tilpums, ko cilvēks var forsēti (strauji un dziļi) izelpot pēc dziļas ieelpas;

FIVC – forsētā ieelpas vitālā kapacitāte (šeit mērīta forsētā ieelpā) – tas ir maksimālais gaisa tilpums, ko cilvēks var forsēti (strauji un dziļi) ieelpot pēc dziļas izelpas. Normā vajadzētu būt tādai pašai kā FVC, un atšķirībai nevajadzētu būt lielākai par 100 ml jeb 5%;

PEF – maksimālais izelpas ātrums;

PIF – maksimālais ieelpas ātrums;

FEV1 – forsētās izelpas tilpums vienā sekundē – cik gaisa var paspēt izelpot pirmajā izelpas sekundē;

FIV1 – forsētas ieelpas tilpums vienā sekundē – cik gaisa var ieelpot sekundē;

(Grants, 1973; Таиванс, 1997; Kible & Halsey, 2009).

Ļoti svarīga un noteicoša nozīme ir arī skābekļa daudzumam, ko satur plaušas, jo tas ir ievērojami vieglāks nekā ūdens. No tā var secināt, ka lielā plaušu vitālā kapacitātē pozitīvi ietekmē peldētāju spēju kustēties zem ūdens un visu organismu kopumā. Pat ieelpas laikā cēlējspēki palielinās pietiekami daudz, lai pretotos ķermeņa smaguma spēkam (Czabanski et al., 2003). Par efektīvas elpošanas sistēmas nozīmi fiziskās slodzes laikā, it īpaši ūdens vidē, nav šaubu.

Nemot vērā minēto, viens no šī pētījuma uzdevumiem bija noteikt korelāciju starp sporta rezultātu un peldētāja funkcionālajām spējām, ko nosaka elpošanas sistēmas efektivitāte.

Promocijas darba teorētiskās daļas septītajā apakšnodaļā **“1.7. Cilvēka elpošanas sistēmas attīstības metodes”** tiek pētīta un analizēta adaptācijās teorija un elpošanas sistēmas attīstības metodes. Cilvēka adaptācijas optimizācijas veidu meklēšana, lai pēc iespējas ātrāk iegūtu labvēlīgas pārmaiņas, ir vērsta daudzos virzienos. Viens no virzieniem, kas tiek attīstīts, ir mērķtiecīga iedarbošanās uz cilvēka elpošanas sistēmu, veicot peldētāju speciālo sagatavotību (Кучкин, 1986, 1999; Солопов, 1989, 1996, 1998; 2004; Bougault et al., 2009; Диверт, Кривошеков, 2013; Кривошеков и др., 2013; Priya, 2014; McCabe, Sanders & Psycharakis, 2015; Нарский и др., 2016).

Atsevišķa organisma adaptācija – indivīda jeb fizioloģiskā adaptācija – ir fizioloģisku un bioķīmisku reakciju kopums, kas nodrošina organismam iespēju pielāgoties videi, mainot atsevišķas reakcijas un funkcijas vai arī saglabājot tās relatīvi nemainīgas. Indivīda adaptācija noris kā orgānu, tā šūnu līmenī.

Ilgtermiņa adaptācija rodas pakāpeniski, ilgstoši vai atkārtoti pakļaujot sportista organismu noteiktiem kairinātājiem. Patiesībā ilgtermiņa adaptācija attīstās, atkārtoti īstenojot neatliekamo adaptāciju, un tai raksturīgi, ka pakāpeniskas noteiktu izmaiņu kvantitatīvas uzkrāšanās rezultātā organisms iegūst jaunu kvalitāti – no neadaptēta kļūst adaptēts. Ilgtermiņa adaptācijas reakcijām ir heterohronisks raksturs. Piemēram, jau 5–7 dienas pēc intensīva aeroba vai aeroba-anaeroba treniņa sākšanās ievērojami palielinās sirds sistoliskais tilpums un sirds izsviedes tilpums, kā arī pienskābes izvadīšanas ātrums no muskuļiem. Šīs pārmaiņas var saglabāties 10–20 dienas pēc treniņa pārtraukšanas (Phillips et al., 1996).

Savukārt lai mainītos muskuļu audi, nepieciešami ilgstoši treniņi. Būtisku mitohondriju skaita, mioglobīna, kontraktīlā proteīna un enzīmu līmeņa pieaugumu, kā arī kapilāru tīkla paplašināšanos var novērot ne ātrāk kā pēc 4–7 nedēļu intensīva darba (Maglischo, 2003; Kenney et al., 2012). Ilgtermiņa adaptācijā izšķir vairākus posmus.

Pirmais posms ir saistīts ar sistemātisku sportista organisma funkcionālo resursu mobilizāciju noteiktas ievirzes treniņprogrammas izpildē, lai stimulētu ilgtermiņa adaptācijas mehānismus, kas balstīti uz atkārtotas īslaicīgas adaptācijas ietekmes summēšanu.

Otrajā posmā, sistemātiski pieaugot un sistemātiski atkārtojoties slodzēm, attiecīgās funkcionālās sistēmas orgānos un audos notiek intensīvas strukturālas un funkcionālas pārvērtības.

Trešo posmu raksturo stabila ilgtermiņa adaptācija, kas izpaužas kā nepieciešamā strukturālā rezerve jauna sistēmas funkcionēšanas līmeņa nodrošināšanai, funkcionālo struktūru stabilitāte, regulējošo centru un izpildorgānu cieša savstarpēja mijiedarbība.

Ceturtais posms notiek neracionāli veidotā, parasti pārmērīgi intensīvā treniņā, ar neatbilstošu uzturu un atjaunojoties atjaunošanās procesā, un tam raksturīga atsevišķu funkcionālās sistēmas komponentu pasliktināšanās (Казначеев, 1984, Matos et al., 2011; Williams, 2013; Платонов, 2017).

Tiek plaši izmantotas treniņu metodes dabiskas (kalnos) un mākslīgas hipoksijas apstākļos. Tās ietver gan visizplatītākos elpošanas vingrinājumus, gan vingrinājumu sistēmas. Tās ietver elpošanu apgrūtinātos apstākļos, piemēram, elpojot tikai caur degunu, mākslīgi palielinot ieelpotā gaisa kustību un daudzumu, un pretestību. Ļoti efektīva ir elpošana caur papildu reziduālo tilpumu, īpaši muskuļu slodzes laikā. Bieži tiek izmantota elpošana ar

hiperkapnisku un hipoksisku gāzu maisījumu. Ir zināmi daudzi mēģinājumi iemācīt dažādus elpošanas kustību brīvprātīgas kontroles variantus un šādas brīvprātīgas elpošanas kontroles lietošanu gan miera stāvoklī, gan fiziskas slodzes laikā.

Īpaši interesanta ir literatūra par hipoksijas ietekmi uz sportistiem, izmantojot dabisko un mākslīgo hipoksiju kā papildu adaptogēnu faktoru (Read, 1967; Кривошеков и др., 2013; Диверт и др., 2013, 2015, 2017).

Literatūrā ir diezgan plaši aprakstīta dažādu, galvenokārt hipoksisku un hiperkapnisku gāzu maisījumu ietekme, kas lietotas, lai radītu mākslīgas hipoksijas un hiperkapnijas apstākļus un to kombināciju.

Tiek pētīta elpošana caur papildu reziduālo tilpumu, lai radītu relatīvas hipoksijas un hiperkapnijas apstākļus (D'Urzo et al., 1986; Солопов & Шляпников, 1986; Солопов, 1988; Булатова & Платонов, 1996).

## 2. PRAKTISKĀ PĒTĪJUMA METODES UN NORISE

Promocijas darba uzdevumu īstenošanai tika izvēlētas teorētiskās un empīriskās metodes:

1. Speciālās literatūras, zinātnisko pētījumu datu analīze un apkopojums.
2. Kinematogrāfija (sacensību darbības un peldēšanas tehnikas video analīze).
3. Dokumentu analīze/sacensību darbības analīze.
4. Spirometrija.
5. Pedagoģiskais eksperiments.
6. Matemātiskās statistikas metodes.

### *Speciālās literatūras, zinātnisko pētījumu datu analīze un apkopojums*

Promocijas darba teorētiskais pamatojums balstās uz zinātniskās literatūras analīzi. Literatūras avotu izpēte veikta galvenajos virzienos: sacensību distances sastāvdaļas; viļņveida zemūdens kustību mehānika un biomehānika; cilvēka elpošanas sistēma un tās rādītāji; peldētāju elpošanas sistēmas, tās attīstības un īpatnību salīdzinājums ar citu ciklisko sporta veidu pārstāvju rādītājiem; viļņveida zemūdens kustību un elpošanas sistēmas rādītāju ietekme uz sporta rezultātu. Kopumā izmantoti 226 speciālās literatūras avoti, no tiem 164 angļu valodā, 47 krievu valodā, 10 latviešu valodā, 1 - spāņu, 2 poļu un 2 vācu valodā. Zinātniskās literatūras padziļināta analīze palīdzēja izprast:

1. Peldēšanas sporta biomehānikas pamatus.
2. Sporta peldēšanas sacensību darbības veidojošos parametrus.
3. Kāju zemūdens viļņveida kustību biomehāniku.
4. Peldētāju elpošanas sistēmas īpatnības un to rādītāju ietekmi uz sacensību rezultātu.

### *Kinematogrāfija (sacensību darbības un peldēšanas tehnikas video analīze)*

Promocijas darbā 2. un 3. uzdevuma realizācijai izmantota kinematogrāfija. Pētījuma uzdevumu realizācijai tika filmēta sacensību darbība un peldētāju kāju viļņveida zemūdens kustību izpildes tehnika.

Latvijas čempionātos peldēšanā sacensību distances veikšana reģistrēta ar stacionāro kameru "PANASONIC HC-VX870 4K ULTRA HD" (Japāna). Tā ir digitāla kamera, kas bija novietota peldbaseina augstākajā vietā un filmēja sacensības ar frekvenci 60 kadri/sekundē un izšķirtspēju 1920x1080 pikseļi, ar optisko asi perpendikulāri ūdens virsmai. Kameras objektīvs sekoja peldējumam, redzamības lauks – apmēram 50x25 m. Vienlaikus tika aptverti visi astoņi

celiņi visā 50 m baseina garumā. Ieraksts sākas ar sportistu uzskāpšanu uz starta paaugstinājuma un beidzas ar peldējuma finišu.

Eiropas 2016. gada čempionātu organizatori nodrošināja visu sacensību augstas izšķirtspējas (HD) videoierakstus ( $f = 50 \text{ Hz}$ ). 10 “pan-tilt-zoom” kameru komplekts izsekoja peldētājus; katram celiņam bija uzstādīta sava kamera (ass v5915, Lund, Zviedrija). Katram peldētājam peldējumā sekoja viena no šīm kamerām, tādējādi bija iespēja analizēt “ūrās peldēšanas” posmus. Divas fiksētās kameras (AXIS q1635, Lund, Zviedrija) filmēja abus peldbaseina galus, un tas ļāva analizēt startu un pagriezieni.

Lai izpētīt augstas un vidējas kvalifikācijas peldētāju kāju viļņveida zemūdens kustību kinemātiskos raksturlielumus, 2020. gada novembrī un decembrī tika organizēta videonovērošana Ķīpsalas peldbaseinā. Baseina malā tika novietota pārvietojama filmēšanas iekārta, peldētāju kāju viļņveida zemūdens kustību izpildes tehnikas videoreģistrēšanu nodrošināja divas pārvietojamas savstarpēji sinhronizētas augstfrekvences (frekvence 60 kadri/sekundē) kameras (GO PRO 6, Amerikas Savienotās Valstis). Zemūdens kamera bija novietota 0,5 m dziļumā. Sauszemes kamera atradās uz speciālas iekārtas 1 metru virs ūdens virsmas. Iekārta (Swim.ee, Igaunija) kustējās līdz pētāmajam subjektam, filmēšana tika veikta sagitālā plaknē.



1. attēls. Videoreģistrācijas iekārta; attēls no [www.swim.ee](http://www.swim.ee)

### ***Dokumentu analīze / sacensību darbības analīze***

Pētīšanas metodes izmantošanas mērķis, bija iegūt informāciju par peldētāju sacensību darbību un kāju viļņveida zemūdens kustību izpildes tehniku. Rezultāti tika apkopoti trīs gadus – no 2019. gada jūnija līdz 2020. gada martam, svarīgākās sacensības Latvijā – Latvijas atklātie čempionāti.

Iegūtie videomateriāli tika apstrādāti ar datorprogrammu “iMovie” un peldētāju kustības sacensībās analizētas ar Reina Haljanda izgudroto oriģinālo sistēmu “Videoanalyzer 60p fps HD video by Rein Haljand”, kas aprobēta Eiropas peldēšanas čempionātos. Darbā ar videomateriāliem ir iespēja noteikt: reakcijas ātrumu, attālumus, ko sportists nopeld, viļņveidā kustinot kājas, kustību biežumu, īrienu garumu un skaitu, distances posmu veikšanas maksimālos un vidējos laikus un ātrumu. Latvijas izlases peldētāju sacensību darbības parametri tiek ierakstīti un salīdzināti ar Eiropas 2016. gada peldēšanas čempionāta finālistu parametriem. Ar matemātiskās statistikas metodi tiek noteiktas atšķirības starp reģistrētajiem parametriem.



Sportista darbību zemūdens posmā, kāju viļņveida zemūdens kustību kinemātisko raksturlielumu analīzei tika lietota optiski elektroniskā kustību reģistrācijas sistēma "Filming Equipment. SWIM.EE" (Igaunija). Raksturlielumu reģistrācijai izmantotas mūsdienu optiski elektroniskās un mehāniski elektriskās ierīces un aparatūra. Iegūtie ieraksti dod iespēju vizualizēt un digitālizēt izvēlēto ķermeņa daļu trajektorijas, iegūt kustības laika raksturlielumus, aprēķināt reģistrēto punktu pārvietojumus, paātrinājumus, ātrumus, izmērīt lineāro un leņķisko kinemātiku – locītavu leņķu maiņu, ķermeņa daļu lineāros ātrumus, paātrinājumus u. c.

Latvijas pieaugušo (18+) un junioru vecuma (16 – 17 g.) peldētāju kāju viļņveida zemūdens kustību kinemātiskie raksturlielumi tiek ierakstīti un salīdzināti ar zinātniskajā literatūrā atrastajiem raksturlielumiem. Ar matemātiskās statistikas metodi noteiktas atšķirības starp reģistrētajiem un literatūrā atrastajiem raksturlielumiem.

### ***Spirometrija***

Lai izpētītu un novērtētu augstas un vidējas kvalifikācijas peldētāju elpošanas sistēmas stāvokli, nosakot dažādu elpošanas sistēmas parametru attīstības līmeni, ar Rīgas Paula Stradiņa universitātes profesores Dr. med. Maijas Rumakas palīdzību 2020. gada februārī tika organizēta testēšana. Peldētāju elpošanas sistēmas stāvokļa raksturlielumu reģistrācijai tika izmantotas mūsdienu mehāniski elektriskās ierīces un aparatūra: atvērtā tipa pneimotahogrāfs SP-250 (Schiller, Šveice); dati apstrādāti ar programmu SDS-104 (Shiller, Šveice).

2022. gada martā un aprīlī Latvijas Sporta pedagoģijas akadēmijas izpētes centrā papildus tika veikta spirometrijas procedūra ar "SpiroScout" spirometru (GANSHORN Medizin Electronic GmbH, Vācija) – tā ir plaušu funkcionālā laboratorija, kuras pamatā ir "GANSHORN" ultraskaņas plūsmas mērīšanas metode. Atbilstoši ATS/ERS kritērijiem dati apstrādāti ar programmu "Ganshorn.LFX 1.9.0." (Vācija).

### ***Pedagoģiskais eksperiments***

Salīdzinot Latvijas junioru peldētāju elpošanas sistēmas parametrus ar datiem, kuri atrodami zinātniskajā literatūrā, tika modificēts, teorētiski pamatots un pedagoģiskā eksperimentā praksē pielietots un pārbaudīts peldētāju elpošanas sistēmas parametru attīstošs vingrinājumu komplekss 16 - 17 gadus veciem peldētājiem. Pedagoģiskais eksperiments ilga četras nedēļas. Pētījuma dalībnieku galvenie iekļaušanas kritēriji bija vecums (16 - 17 g.) un pieredze sportā (ne mazāk kā seši gadi). Eksperimentā piedalījās 33 peldētāji (15 - eksperimentālā grupa: 16,1±2,4 gadi, 176,37±5,98 cm, 66,03±9,35 kg, 7 jauniešu un

8 jaunieši; un 18 kontroles grupa: 16,5±2,0 gadi, 180,03±6,1 cm, 70,82±7,39 kg, 7 jauniešu un 11 jaunieši). Pētījuma dalībnieka saslimšanas vai traumas gadījumā viņš tiktu izslēgts no eksperimenta. Pedagoģiskā eksperimenta beigās Latvijas junioru peldētāju elpošanas sistēmas parametru atkārtota reģistrēšana tika veikta vienlaikus ar sacensību rezultātu reģistrēšanu. Lai pārbaudītu modificētā elpošanas kompleksa efektivitāti, tika organizēta testēšana Latvijas Sporta pedagoģijas akadēmijas veselības aprūpes sportā izpētes centrā 2022. gada martā un aprīlī.

Eksperimenta galvenais mērķis bija pārbaudīt modificētā vingrinājumu kompleksa efektivitāti un salīdzināt divu grupu (eksperimentālās un kontroles) dalībnieku elpošanas sistēmas parametru un sacensību rezultātu izmaiņas. Datu vākšanai tika izmantots SpiroScout spirometrs, jo spirometrija sporta medicīnā ir atzīta kā precīza metode. Paralēli tika reģistrētas izmaiņas sacensību rezultātos. Eksperimenta gaitu skatīt 2.3. apakšnodaļā "Pētījuma organizēšana".

### ***Matemātiskās statistikas metodes***

Eksperimentos iegūto datu apstrāde veikta ar “Microsoft Office Excel” programmu. Datu apstrādei izmantota aprakstošā statistika: vidējais aritmētiskais, standartnovirze, standartklūda.

Ar hī - kvadrāta testu tika pārbaudīta datu atbilstība normālam sadalījumam, tests vislabāk piemērots diskrētiem datiem, uz kā pamata izvēlēta matemātiskās statistikas metode datu turpmākai apstrādei. Statistiski ticamas atšķirības noteikšanai tika izmantots Stjudenta T tests (datu normāla sadalījuma gadījumā) un Van der Vardena kritērijs (gadījumā, kad dati neatbilda normālajam sadalījumam), ar ticamības intervālu  $\alpha < 0,05$  (Насредов, 2004; Дубина, 2006; Riekstiņš - Riekstiņš, 2011). Vērtība  $\alpha$  noteikta, balstoties uz “zinātniskās konvencijas” līgumiem, kurus zinātnieki saņēmuši, pamatojoties uz praktisko pieredzi dažādos pētījumos. Šāda vērtība  $\alpha$  ieteicama maziem paraugiem.

Likumsakarību noteikšanai starp divām dažādām izlasēm izmantota korelācijas matrica un Pirsona korelācijas koeficients. Korelācijas koeficients var būt vērtība starp -1 un +1; turklāt, ja vērtība ir tuvāk 1, tad tas nozīmē, ka ir spēcīga saikne, bet, ja tuvāk par 0, tad vāja. Precīzāk: ja korelācijas koeficients ir intervālā no 0 līdz 0,2, tad saikne uzskatāma par ļoti vāju; no 0,2 līdz 0,5 – korelācija ir vāja; no 0,5 līdz 0,7 – korelācija vidēja; no 0,7 līdz 0,9 – korelācija ir augsta; no 0,9 un augstāk – korelācija tiek uzskatīta par ļoti augstu.

### ***Pētījuma organizācija***

Promocijas darba pētījuma realizācija tika sadalīta vairākās daļās, un pētījums ilga četrus gadus – no 2019. gada septembra līdz 2022. gada aprīlim. Visi eksperimenti tika saskaņoti ar Latvijas Sporta pedagoģijas akadēmijas Ētikas komisiju (atzinums Nr.3/51813, skatīt 1. pielikumu).

**Pētījuma pirmais posms.** Tika veikta zinātniskās literatūras avotu analīze par peldēšanas sporta vēsturi, hidrodinamiku, biomehāniku, sacensību darbības veidojošiem parametriem, un tas ietekmi uz sacensību rezultātiem, cilvēka elpošanas sistēmas darbības mehānismiem, elpošanas muskulatūru un izmaiņām elpošanas sistēmas parametru attīstība, kas veidojas ilglaicīgas adaptācijās rezultātā, ka arī tiek analizēta dažādu elpošanas sistēmas parametru attīstību saistība ar sacensību rezultātiem. un sniegumu.

**Pētījuma otrais posms.** Lai risinātu promocijas darbā izvirzīto uzdevumu – izpētīt Latvijas izlases peldētāju sacensību parametrus un salīdzināt tos ar Eiropas elites peldētāju sacensību parametriem, tika veikta padziļināta Latvijas peldēšanas čempionātu dalībnieku sacensību darbību analīze.

Galvenie uzdevumi bija:

Noteikt Latvijas peldētāju sacensību darbības parametrus (atsevišķu distances posmu veikšanas ātrumus; attālumus, kurus sportisti pavada zem ūdens un uz tā virsmas; pagriezīenu ātrumu un tml.), salīdzinot tos ar Eiropas labāko peldētāju sacensību darbību rādītājiem.

Izvēlēto sacensību darbību parametru apraksti bieži sastopami zinātniskajā literatūrā un tiek pieņemti sporta peldēšanā kā sacensību distances komponenti: reakcijas laiks uz starta signālu, pirmie 15 metri pēc starta lēciena, 30 metri “tīrās peldēšanas”, 5 metri līdz apgriezīenam un 15 metri pēc tā, 30 metri “tīrās peldēšanas”, 5 metri līdz finišam.

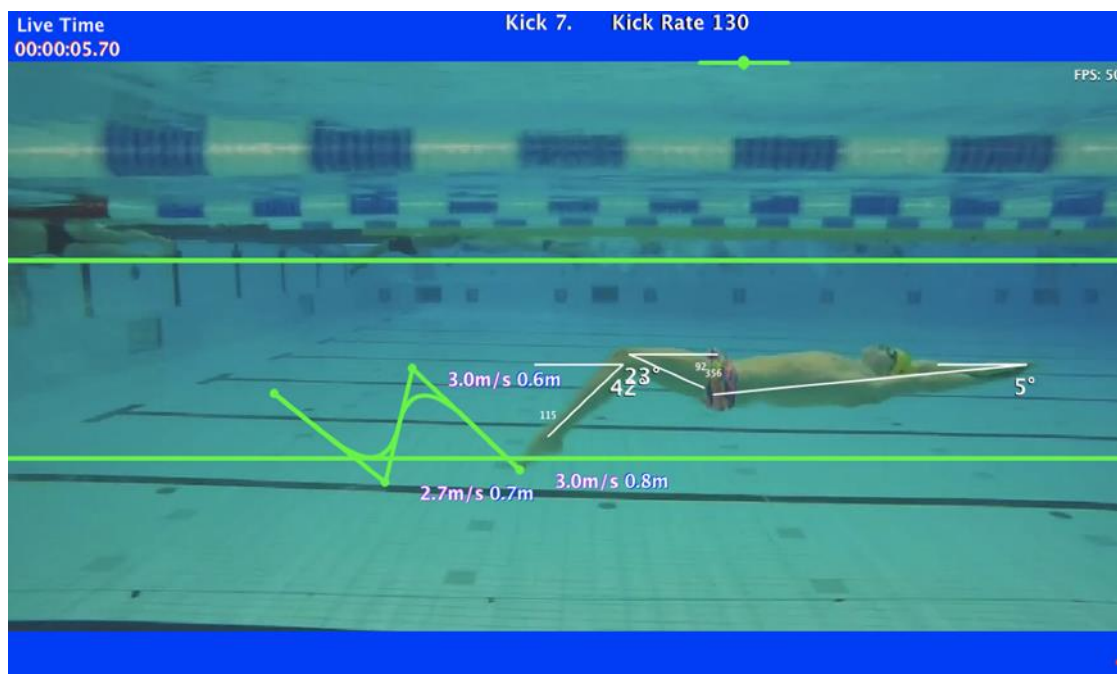
Trīs gadu laikā analizēti 262 fināla peldējumi (72 – Latvijas 94. čempionātā, 83 – 95. Latvijas čempionātā, 107 –Latvijas 96. čempionātā) gan vīriešu, gan sieviešu konkurencē. Tālākai apstrādei un analīzei atlasīti gan vīriešu, gan sieviešu 100 metru peldējumi (24 – Latvijas 94. čempionātā, 24 – Latvijas 95. čempionātā, 24 –Latvijas 96. čempionātā). Pētījuma dalībnieku atlases galvenie kritēriji bija: Latvijas valstspiederība, kvalificēšanās finālpeldējumam.

**Pētījuma trešais posms.** Trešā posma galvenais uzdevums bija izpētīt augstas un vidējas kvalifikācijas Latvijas peldētāju kāju zemūdens viļņveida kustību kinemātiskos

raksturlielumus un salīdzināt ar zinātniskajā literatūrā atrastajiem raksturlielumiem. Zemūdens daļas kustību videoreģistrēšana notika no 2019. gada novembra līdz 2020. gada decembrim Ķīpsalas peldbaseinā Rīgā.

Pētījuma dalībnieku galvenie atlases kritēriji bija vecums (12 jaunie peldētāji – (vecums  $16,5 \pm 0,33$  gadi, augums  $180,65 \pm 7,8$  cm, svars  $71,76 \pm 5,53$  kg); 8 pieaugušie peldētāji – (vecums  $21,23 \pm 3,32$  gadi, augums  $189,24 \pm 6,17$  cm, svars  $82,36 \pm 6,01$  kg.) ar vairāk nekā 10 gadu sporta pieredzi), specializācija: tauriņstils, krauls uz muguras, krauls uz krūtīm.

Eksperiments tika organizēts maksimāli tuvināti sacensību apstākļiem. Pirms videoreģistrācijas procedūras eksperimenta dalībnieki veica ierasto individuālo vispārīgo un speciālo iesildīšanos sev ierastajā režīmā. Filmēšanas kameras bija novietotas uz speciāliem ratiem (viena zem ūdens, otra virs ūdens uz speciālas ierīces) un kustējās līdz sportistam sagitālajā plāksnē. Videoreģistrācijas laikā pētījuma dalībnieki veica 25 metru distanci sacensību ātrumā pēc starta signāla. Katram bija iespēja nopeldēt distanci trīs reizes. Starp atkārtojumiem atpūtas intervāls bija 5 minūtes. Zemūdens peldēšanas tehnika tika filmēta ar divām savstarpēji sinhronizētām videokamerām. Iegūtie dati apstrādāti ar speciālo programmu.



## 2. attēls. Eksperimenta norise: kāju zemūdens viļņveida kustību analīze

Tika noteikta zemūdens viļņveida kustību frekvence un amplitūda, lineārā un leņķiskā kinemātika – locītavu leņķu izmaiņas, ātrums, ķermeņa stāvoklis un tā svārstības, hidrodinamiskais stāvoklis, noteikts trieciena un iegremdēšanas leņķis.

Ar matemātiskās statistikas metodi noteiktas atšķirības starp pētījumā reģistrētajiem un literatūrā atrastajiem raksturlielumiem. Rezultātā izstrādātās rekomendācijas treneriem un jauniešiem peldētājiem zemūdens viļņveida kustību tehnikas pilnveidošanai 100 m distancē.

**Pētījuma ceturtais posms.** Ceturtā posma uzdevums bija izveidot priekšstatu par Latvijas peldētāju elpošanas sistēmas attīstības līmeni un modificēt elpošanas sistēmas parametru attīstošu vingrinājuma kompleksu. Uzdevuma veikšanai izmantotas šādas metodes: spirometrija un matemātiskā statistika.

Pētījums organizēts, lai:

- 1) izpētītu augstas un vidējas kvalifikācijas peldētāju elpošanas sistēmas stāvokli;

2) izpētītu dažādus elpošanas sistēmas parametrus un to sakarību ar sacensību rezultātiem;

3) pamatojoties uz iegūtajiem mērījumu datiem, modificēt, teorētiski pamatot un praksē pieliet elpošanas sistēmas parametru attīstošs vingrinājumu komplekss jaunajiem peldētājiem.

Eksperimentā piedalījās 44 dažādu vecumu un kvalifikācijas peldētāji (28 vīrieši: 12 jaunie peldētāji – vecums  $16,5 \pm 0,33$  gadi, augums  $183,85 \pm 3,46$  cm, svars  $74,26 \pm 7,53$  kg un 16 pieaugušie peldētāji - vecums  $21,23 \pm 3,32$  gadi, augums  $187,84 \pm 7,17$  cm, svars  $83,17 \pm 10,01$  kg, un 16 sievietes: 11 jaunie peldētāji – vecums  $16,5 \pm 0,33$  gadi, augums  $170,27 \pm 7,08$  cm, svars  $60,24 \pm 7,17$  kg, un 5 pieaugušie peldētāji – vecums  $21,8 \pm 4,54$  gadi, augums  $174,20 \pm 7,29$  cm, svars  $65,7 \pm 7,47$  kg).

Lai izpētītu augstas un vidējas kvalifikācijas peldētāju elpošanas sistēmas stāvokli, 2020. gadā ar Rīgas Paula Stradiņa universitātes profesores Dr. med. Maijas Rumakas palīdzību tika organizēts laboratorijas eksperiments. Peldētāju elpošanas sistēmas stāvokļa raksturlielumu reģistrācijai atbilstoši ATS/ERS kritērijiem tika izmantotas mūsdienu mehāniski elektriskās ierīces un aparatūra – atvērtā tipa pneimotahogrāfs SP-250 (Schiller, Šveice) ar SDS-104 programmu (Schiller, Šveice).

Datu apstrādei izmantots labākais mērījums (ar lielāko FVC un FEV1 summu) un pēc tam analizēti šādi parametri:

- FVC – forsētā vitālā kapacitāte (šeit mērīta forsētā izelpā) – tas ir maksimālais gaisa tilpums, ko cilvēks var forsēti (strauji un dziļi) izelpot pēc dziļas ieelpas;
- FEV1 – forsētās izelpas tilpums vienā sekundē – cik gaisa var paspēt izelpot pirmajā izelpas sekundē;
- PEF – maksimālais izelpas ātrums;
- FIV1 – forsētas ieelpas tilpums vienā sekundē – cik gaisa var ieelpot 1 sekundes laikā;
- PIF – maksimālais ieelpas ātrums;

Iegūtie rezultāti apstrādāti ar matemātiskās statistikas metodi, tiek noteikta elpošanas sistēmas parametru sakarība ar sacensību rezultātiem (FINA punkti).

Sacensību rezultāti tika vērtēti pēc oficiālās starptautiskās punktu skaita (IPS) sistēmas, ko lieto Starptautiskā Peldēšanas federācija (FINA). Punktus (P) aprēķina, izmantojot kubisko līkni, pēc šādas formulas:

$$P = 1000 * (B/T)$$

kur T ir sacensību rezultāts sekundēs un B ir bāzes laiks sekundēs. Bāzes laiki tiek noteikti katru gadu, pamatojoties uz jaunāko pasaules rekordu, ko apstiprina FINA (starptautiska peldēšanas federācija).

Pamatojoties uz iegūtajiem korelācijas datiem, modificēts teorētiski pamatots elpošanas sistēmas parametru attīstīšanas vingrinājumu komplekss jaunajiem peldētājiem.

**Pētījuma piektais posms.** Posma mērķis bija pārbaudīt modificēta elpošanas kompleksa efektivitāti, – vai izvēlēta metodika nodrošina sacensību rezultātu izaugsmi, tādēļ tika organizēts pedagoģiskais eksperiments.

Pirms eksperimenta veikta testēšana Latvijas Sporta pedagoģijas akadēmijas izpētes centrā 2022. gada martā un otra pēc aprīli. Pētījumā veiktas divas elpošanas sistēmas testēšanas procedūras ar spirometrijas metodi.

Pirmā testēšana notika Latvijas Sporta pedagoģijas akadēmijas izpētes centrā 2022. gada martā, datu vākšanai lietots “SpiroScout” spirometrs (GANSORN Medizin Electronic GmbH, Vācija). Pētījumam pieteicās trīsdesmit trīs jauni (16–17 g.), labi apmācīti (trenējas vismaz 14 h nedēļā) vietējie peldētāji no dažādiem peldēšanas klubiem un sporta skolām (Jelgavas SPS, Jūrmalas SS, RBJSS Rīdzene-Ziepiņkalns, biedrības “Sporta klubs SK DEFĪNS”), kuri nesmēķē un kuriem normāli funkcionē plaušas. Pētījuma dalībnieki tika sadalīti divās

viendabīgās grupās. Eksperimenta dalībnieku raksturojums: Eksperimentāla grupa 15 cilvēki (vecums  $16,15 \pm 2,4$  gadi, augums  $176,37 \pm 5,98$  cm, svars  $66,03 \pm 9,35$  kg), un kontroles grupa 18 cilvēki (vecums  $16,5 \pm 2,0$  gadi, augums  $180,03 \pm 6,1$  cm, svars  $70,82 \pm 7,36$  kg). Visiem peldētājiem sporta pieredze ir  $\pm 8$  gadi, viņi pārsvarā specializējas uz īsajām un vidējām distancēm (50–400 m) un kopumā trenējas 43–45 nedēļas gadā (baseinā un sporta zālē), treniņu ilgums parasti ir  $20,0 \pm 2,0$  stundas nedēļā. Pētījuma dalībnieki nesaņēma finansiālu atlīdzību par piedalīšanos, un visi rakstiski piekrita dalībai eksperimentā.

Pirms eksperimenta tika fiksēti pētījuma katra subjekta labākie sacensību rezultāti 2022. gadā 100 metru distancē FINA punktos. Sacensību rezultāti, sportistu individuālie sasniegumi un rezultātu dinamika pieejama [www.swimrankings.net](http://www.swimrankings.net) datu bāzē ("Swimrankings" vietnē apkopo peldēšanas sacensību rezultātus un automātiski saglabā tos žurnālfailos). Pētāmās grupas vidējie sacensību rezultāti FINA punktos: eksperimentālā grupā  $482,47 \pm 46,55^*$ , un kontroles grupā  $495,61 \pm 79,94^*$  (\*  $p < 0.05$ ).

Eksperimentā kontroles grupas peldētāji izpildīja tikai ierastos treniņuzdevumus bez elpošanas vingrinājumu kompleksa, bet eksperimentālās grupas peldētāji izpildīja ierastos treniņuzdevumus, iekļaujot arī elpošanas vingrinājumu kompleksa vingrinājumus.

Pēc eksperimentālā perioda (četras nedēļas) tika atkārtoti noteikti antropometriskie mainīgie, FVC, PIF, PEF un peldēšanas parametri (sacensību rezultāts 100 m distancē FINA punktos). Atkārtotai sacensību rezultātu fiksācijai tika izvēlēts 73. Latvijas U-19 čempionāts 2022. gada 8. un 9. aprīlī Jelgavā.

Iegūtie rezultāti apstrādāti ar matemātiskās statistikas metodi, tika noteiktas izmaiņas elpošanas sistēmas parametru rādītājos un sacensību rezultātos.

### 3. IEGŪTO REZULTĀTU ANALĪZE

Promocijas darba trešo daļu veido trīs nodaļas, kas secīgi atklāj pētījuma atrisinātos uzdevumus. Pirmajā apakšnodaļā "**3.1. Latvijas peldēšanas čempionātu finālistu sacensību darbību parametru analīze un salīdzinājums ar 2016.g. Eiropas čempionāta finālistu parametriem**" uzdevums bija izpētīt Latvijas čempionātu finālistu sacensību darbību parametrus un salīdzināt tos ar Eiropas čempionāta finālistu sacensību darbību parametriem. Pētījumā veikta padziļināta Latvijas peldēšanas čempionātu dalībnieku sacensību darbību analīze.

Analizēti Latvijas atklāto peldēšanas čempionātu rezultāti no 2019. līdz 2020. gadam (24 –Latvijas 94. čempionātā, 24 –Latvijas 95. čempionātā, 24 –Latvijas 96. čempionātā). Tika ņemti Latvijas peldētāju trīs labākie rezultāti katrā peldēšanas stilā 100 m distancē.

Tika noteikts distances veikšanas rezultāts, ātrums distancē, reakcija uz starta signālu, pirmo 15 m veikšanas laiks un ātrums, zemūdens distances laiks un attālums pēc starta un pagrieziena, pagrieziena laiks un ātrums, kustību temps distancē, īriena garums, "tūrās peldēšanas" ātrums. Iegūtie rezultāti apstrādāti un sacensību darbību parametru vidēji aritmētiskie ierakstīti tabulās.

Abi dzimumi bija ātrāki brīvajā stilā, kam sekoja tauriņstils, krauls uz muguras un brass. Vislielākā peldēšanas rezultātu atšķirība konstatēta starp brīvo stilu un brasu vīriešiem un sievietēm (vīrieši:  $d = 11,44$  s; sievietes:  $d = 16,54$  s). Vismazākā rezultātu starpība novērota starp kraulu uz muguras un tauriņstilu, arī abiem dzimumiem (vīrieši:  $d = 0,67$  s; sievietes:  $d = 2,33$  s). Un tas atbilst zinātniskajā literatūrā sastopamajam dažādu peldēšanas stilu ātruma sadalījumam (Solovjova, 2017; Morais et al., 2018).

Pirmajos 15 metros lielākie ātrumi fiksēti brīvajā stilā vīriešiem ( $6,28 \pm 0,04$  s) un brīvajā stilā sievietēm ( $6,96 \pm 0,06$  s). Vismazākie ātrumi tika novēroti brasā gan sievietēm, gan vīriešiem (vīrieši:  $7,14 \pm 0,04$  s; sievietes:  $8,44 \pm 0,11$  s). Pirmo 15 m veikšanas ātrums (m/s)

vīriešiem ( $2,38\pm 0,2$ ), sievietēm ( $2,17\pm 0,04$ ) brīvajā stilā, mazākais ātrums vīriešiem kraulā uz muguras ( $2,07\pm 0,1$ ), sievietēm brasā ( $1,80\pm 0,1$ ).

Runājot par attālumu, kuru sportisti veica zem ūdens, tālākais rezultāts konstatēts sievietēm peldējumos uz muguras ( $12,83\pm 1,04$ ) un vīriešiem brasā ( $12,44\pm 1,35$ ), īsākais – brīvajā stilā gan sieviešu ( $9,06\pm 0,82$ ), gan vīriešu ( $9,72\pm 1,18$ ) konkurencē.

Pagriezienos (5 metri līdz apgriezienam un 15 metri pēc) lielāki ātrumi konstatēti gan vīriešiem, gan sievietēm – brīvā stila peldējumos (vīrieši:  $10,72\pm 0,09$  s, sievietes:  $11,58\pm 0,01$  s). Vismazākie ātrumi novēroti brasā gan sieviešu, gan vīriešu peldējumos (vīrieši:  $12,94\pm 0,12$  s; sievietes:  $14,98\pm 0,2$  s).

Apvienojot pirmo 15 metru un pagrieziena veikšanas laiku, konstatējams, ka labākos rezultātus peldētāji sasnieguši brīvajā stilā (vīrieši:  $18,48\pm 0,12$  s; sievietes:  $18,48\pm 0,12$  s). Apvienotajā startā un pagrieziena posmā sportisti pavadīja ~30% no distances laika, tas attiecas uz visiem četriem peldēšanas stiliem. Pētījuma rezultāti pierāda starta un pagrieziena posma lielo ietekmi uz sacensību rezultātiem.

Attālums pēc pagrieziena: labākos rezultātus sasniegta vīrieši brasā ( $9,06\pm 0,34$  m) un sievietes kraulā uz muguras ( $8,33\pm 0,76$  m); īsāki attālumi bija brīvajā stilā –  $6,19\pm 1,3$  m vīriešiem un  $4,61\pm 0,35$  m sievietēm.

Lai veiktu pētījuma uzdevumu – salīdzināt Latvijas izlases peldētāju sacensību parametrus ar Eiropas elites peldētāju sacensību parametriem, tika izpētīti 2016. gada Eiropas čempionāta (50 m baseinā) finālistu sacensību darbību parametri 100 metru distancēs. Tika analizēti visu 64 (32 vīriešu un 32 sieviešu) finālistu peldējumi 100 m distancēs 2016. gada LEN Eiropas čempionāta (garajā baseinā), kas notika Londonā (astoņi finālisti katrā peldēšanas veidā: brīvajā stilā, uz muguras, brasā un tauriņstilā; vīrieši un sievietes).

Oficiālie sacensību distances veikšanas laiki (100 m sacensību rezultāts, 50 m veikšanas laiks un starta reakcijas) iegūti oficiālajā sacensību tīmekļa vietnē [www.london2016.microplustiming.com](http://www.london2016.microplustiming.com). Pārējie sacensību darbību parametri iegūti ar kinemātikas metodi.

Abi dzimumi bija ātrāki brīvajā stilā, kam seko tauriņstils, krauls uz muguras un brass. Vislielākā rezultātu atšķirība konstatēta starp brīvo stilu un brasu vīriešiem un sievietēm (vīrieši:  $d = 11,71$  s; sievietes:  $d = 13,02$  s). Vismazākā rezultātu starpība novērota starp kraulu uz muguras un tauriņstilu, arī abiem dzimumiem (vīrieši:  $d = 2,35$  s, sievietes:  $d = 2,15$  s.) Šādi rezultāti atbilst zinātniskajā literatūrā aprakstītajam dažādu peldēšanas stilu ātruma sadalījumam (Solovjova, 2017; Morais et al., 2018).

Pirmajos 15 metros lielākie ātrumi fiksēti vīriešiem tauriņstilā ( $5,71\pm 0,14$  s) un sievietēm brīvajā stilā ( $6,68\pm 0,28$  s). Vismazākie ātrumi novēroti brasā gan sievietēm, gan vīriešiem (vīrieši:  $6,78\pm 0,25$  s; sievietes:  $7,81\pm 0,27$  s). Pirmo 15 m veikšanas ātrums m/s vīriešiem tauriņstilā ( $2,63\pm 0,7$ ) un sievietēm ( $2,25\pm 0,09$ ) brīvajā stilā, lēnākais vīriešiem brasā ( $2,21\pm 0,8$ ) un sievietēm brasā ( $1,92\pm 0,07$ ).

Pagriezienos (5 m līdz apgriezienam un 15 m pēc) lielāki ātrumi konstatēti vīriešiem un sievietēm brīvā stila peldējumā (vīrieši:  $9,56\pm 0,13$  s, sievietes:  $10,78\pm 0,28$  s), lēnākie –  $7,77\pm 1,85$  s vīriešiem un  $6,62\pm 0,76$  s sievietēm brīvajā stilā.

Apvienojot pirmo 15 metru un pagrieziena veikšanas laiku, konstatējams, ka labākus rezultātus sasnieguši peldētāji brīvajā stilā (vīrieši:  $15,40\pm 0,20$  s; sievietes:  $17,45\pm 0,54$  s). Apvienotajā starta un pagrieziena posmā sportisti pavadīja ~33% no distances laika – tas attiecas uz visiem četriem peldēšanas stiliem. Pētījuma rezultāti pierāda starta un pagrieziena posma lielo ietekmi uz sacensību rezultātiem.

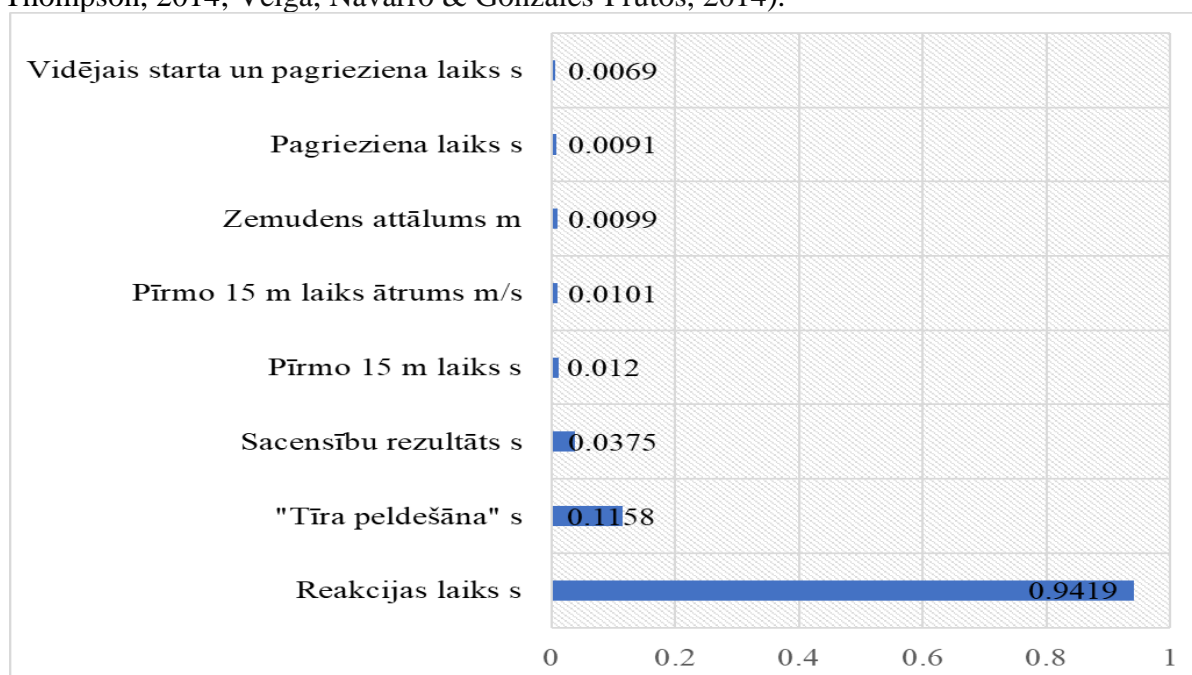
Attālumi, kurus sportisti pavadīja zem ūdens pēc starta, parādīti 16. tabulā. Lielāki rādītāji konstatēti Eiropas 2016. gada čempionāta finālpeldējumā:  $13,02\pm 1,01$  m brasā vīriešiem un  $12,85\pm 1,24$  m kraulā uz muguras sievietēm. Īsākie zemūdens posmi – brīvajā stilā gan sieviešu ( $11,43\pm 1,17$  m), gan vīriešu ( $10,74\pm 1,05$  m) konkurencē.

Pēc pagrieziena labākos rezultātus gan vīrieši ( $11,02 \pm 1,31$  m), gan sievietes ( $10,61 \pm 2,05$  m) sasniedz kraulā uz muguras, īsākie zemūdens posmi ir brīvajā stilā:  $7,76 \pm 1,88$  m vīriešiem un  $6,61 \pm 0,77$  m sievietēm.

Turpmākajai datu salīdzināšanai un statistikas analīzei no kopējiem sacensību parametriem tika izņemti dati par peldēšanu brasā. Šajā peldēšanas veidā netiek veiktas viļņveida zemūdens kustības, līdz ar to šo datu izmantošana pētījumā nav iespējama.

Sacensību darbību parametru salīdzinājumam izmantota matemātiskā statistika. Tika pieņemta nulles hipotēze, kas liecina, ka starp rezultātiem nav statistiski ticamas atšķirības.

Iegūtie rezultāti apstiprināja pieņēmumu, ka distancē visātrāk tiek nopeldēti pirmie 15 metri pēc starta, tas attiecas uz visiem peldēšanas stiliem gan vīriešu, gan sieviešu konkurencē. Šie fakti atbilst zinātniskajā literatūrā aprakstītajiem datiem (Mytton, Archer, St Clair & Thompson, 2014; Veiga, Navarro & Gonzales-Frutos, 2014).



### 3. Attēls. EČ un LČ rezultātu salīdzinošā analīze (\* $p < 0.05$ )

Salīdzinot sacensību rezultātus, konstatēts, ka, izņemot vidējo reakcijas laiku uz starta signālu (Eiropas elites peldētājiem  $0,68 \pm 0,03$  s un Latvijas labākajiem peldētājiem  $0,69 \pm 0,03$  s; T tests 0,9419) un "tīrās peldēšanas" posmu vidējo ātrumu (Eiropas elites peldētāju ātrums ir  $1,68 \pm 0,18$  m/s, Latvijas labāko peldētāju –  $1,57 \pm 0,16$  m/s (T tests 0,1158), kur nav konstatēta statistiski ticama atšķirība. Visos pārējos sacensību distancēšanas parametros (pirmo 15 m veikšanas ātrumā, t.i.,  $2,08 \pm 0,21$  m/s Latvijas ātrākajiem peldētājiem un Eiropas čempionāta finālistiem  $2,27 \pm 0,24$  m/s (T tests 0,1001), pagrieziena posma veikšanas ātrumā, t.i.,  $12,43 \pm 1,41$  s Latvijas ātrākajiem peldētājiem un Eiropas čempionāta finālistiem  $11,26 \pm 1,19$  s (T tests 0,1001), kā arī gala rezultātā, t.i.,  $61,15 \pm 6,47$  s Latvijas ātrākajiem peldētājiem un Eiropas čempionāta finālistiem  $56,85 \pm 5,7$  s (T tests 0,0375) Latvijas sportisti zaudē Eiropas elites peldētājiem un starp sacensību rezultātiem konstatētas statistiski ticamas atšķirības.

Otrajā apakšnodaļā "**Latvijas pieaugušo (18+) un junioru (16 – 17 g.) peldētāju kāju zemūdens viļņveida kustību kinemātisko raksturojumu salīdzinošā analīze un rekomendāciju peldēšanas treneriem izstrāde peldētāju kāju zemūdens viļņveida kustību tehnikas pilnveidošanai 100 m. distance**" veikta Latvijas pieaugušo (18+) un junioru vecuma (16–17. g. v.) peldētāju viļņveida zemūdens kustību kinemātiskos raksturlielumus izpēte un iegūtie rezultāti tiek salīdzināti, un izveidoti efektīvas viļņveida kustību tehnikas apguves

rekomendācijas peldēšanas treneriem un jaunajiem peldētājiem. Videomateriāli apstrādāti ar speciālo aparāturu un vidējie rezultāti (vidējais aritmētiskais, standartnovirze) ierakstīti tabulās.

Secināts, ka pieaugušo peldētāju peldēšanas ātruma, kas sasniegts ar kāju viļņveida zemūdens kustībām, vidējais rādītājs ir  $2,20 \pm 0,09$  m/s, vidējais sitienu skaits ir  $10,63 \pm 1,06$  kustības, kustību biežums  $-148,33 \pm 9,01$  sit./m, pēdas amplitūda ir  $0,77 \pm 0,03$  m, ceļu amplitūda ir  $0,22 \pm 5,8$  m, pārvietošanās distance, veicot vienu sitienu uz leju,  $-0,78 \pm 0,074$  m. Tika notestēti astoņi peldētāji – divi starptautiskas klases sporta meistari un seši sporta meistari.

Junioru grupā analizēti 12 peldētāji – deviņi sporta meistara kandidāti un trīs pirmās sporta klases sportisti. Iegūtie vidējie rezultāti: peldēšanas vidējais ātrums, kas sasniegts ar kāju zemūdens viļņveida kustībām, ir  $1,82 \pm 0,09$  m/s, sitienu skaits ir  $7,83 \pm 1,70$ , kustību biežums ir  $126,25 \pm 9,85$  sit./m, pēdas amplitūda ir  $0,71 \pm 0,02$  m, ceļgalu amplitūda ir  $0,26 \pm 0,03$  m, pārvietošanās distance, veicot vienu sitienu uz leju,  $-0,71 \pm 0,02$  m.

Iegūtie dati liecina par to, ka zemūdens peldēšanas ātruma, kustību biežuma, pēdu un ceļu kustību amplitūdas, ar vienu viļņveida kustību veiktā attāluma, kā arī kustību skaita ziņā starp pieaugušo (18+) un junioru vecuma peldētāju parametriem pastāv statistiski ticamas atšķirības.

Salīdzinot ar zinātniskajā literatūrā minētajiem datiem, 16 – 17 gadu veco peldētāju zemūdens viļņveida kustībās tiek novērotas šādas nepilnības:

1. Kāju viļņveida kustību sākums uzreiz pēc iegremdēšanās ūdenī, tādējādi tiek zaudēts ātrums, kas tiek sasniegts pēc starta vai atgrūdienā no baseina sienas.
2. Liekas roku svārstības uz augšu un leju, galvas pozīcija zem rokām.
3. Liels iegremdēšanās dziļums, tāpēc zemūdens viļņveida kustības notiek uz augšu.
4. Ritmiskuma trūkums, tādējādi zemūdens viļņveida kustību frekvence svārstās no 100 līdz 170 sit./m.
5. Neatbilstošs viļņveida zemūdens kustību skaits – līdz 8.

Balstoties uz speciālistu atziņām (Макаренко, 1983, Videler & Kamermans, 1985, Хальянд и др, 1986; Lytle & Blansky, 2000; Voroncov & Rumjancev, 2000; Литвинов & Фоменко, 2005; Vennell et al., 2006; Hochstein et al., 2014, Solovjova, 2017) un individuālo testu rezultātiem (kinematogrāfija – kāju zemūdens viļņveida tehnikas), izstrādātās efektīvas viļņveida kustību tehnikas apguves rekomendācijas jaunajiem peldētājiem:

1. Ķermeņa iegremdēšanās leņķis ūdenī jābūt – diapazonā no 28 līdz 32 grādiem.
2. Jānotur hidrodinamiska ķermeņa pozīcija visa zemūdens posma garumā, triecienu leņķis – 3 – 5 grādu diapazonā.
3. Kāju viļņveida kustības jāuzsāk ne ātrāk kā sekundi pēc ķermeņa pilnas iegremdēšanās ūdenī pēc starta vai atgrūdienu no baseina sienas.
4. Jāizvairās kustināt rokas uz augšu un leju, kad galva iespiesta starp tām.
5. Zemūdens viļņveida kustības visefektīvāk tiek izpildītas 0,8–1 m dziļumā.
6. Kāju zemūdens viļņveida kustību ritmiskums un frekvence –  $140 \pm 10$  sit./min.
7. Kāju zemūdens viļņveida kustību skaits – diapazonā no 8 līdz 10.
8. Treniņos pakāpeniski jāpalielina zemūdens viļņveida kustību skaits un zem ūdens pavadītais attālums.
8. Pakāpeniska zemūdens viļņveida kustību skaita un zem ūdens nopeldētā attāluma palielināšana treniņos.
9. Jāveic vingrinājumi vēdera, rumpja, muguras un kāju muskulatūrai.
10. Jāveic stiepšanās un pareizas stājas izkopšanas vingrojumi.

Lai apgūtu efektīvu kāju zemūdens viļņveida kustību tehniku, šie ieteikumi jāizmanto katrā treniņā, sākot no 2. – 3. mācību gada. Tehnikas pamatus daudz vieglāk iemācīt pašā mācību sākumā. Pastāv uzskats, ka stabilizējošie muskuļi noguruma dēļ nespēj pilnvērtīgi izpildīt ķermeņa stabilizējošo funkciju un nodrošināt (saglabāt) vēlamo pozu attiecīgā vingrojuma izpildes laikā. Tāpēc svarīgi pakāpeniski dozēt slodzi atkarībā no audzēkņa vecuma



un meistarības. Trenerim nepieciešams izskaidrot audzēknim pareizas zemūdens viļņveida kustības tehnikas pamatus, sniegt zināšanas un veicināt izpratni par to lietošanas nepieciešamību. Rūpīga rekomendāciju izpilde nodrošinās gan pietiekamu mehānisko slodzi muskuļiem, veicinot muskulatūras attīstību, gan arī nodrošinās vēlamās peldēšanas tehnikas apguvi. Treiņa nobeigumā peldētājiem jāizpilda ķermeņa un kāju muskuļu stiepšanās vingrojumi un vingrojumi pareizas stājas veicināšanai.

Trešajā apakšnodaļā “**3.3. Latvijas peldētāju elpošanas sistēmas parametru un to likumsakarību ar sacensību rezultātiem analīze**” galvenie uzdevumi bija izveidot priekšstatu par Latvijas peldētāju elpošanas sistēmas attīstības līmeni, veikt pieaugušo un 16–17 gadu veco peldētāju elpošanas sistēmas parametru salīdzinošo analīzi, noteikt pieaugušo un jauno peldētāju elpošanas sistēmas parametru un sacensību rezultātu savstarpējās sakarības, ka arī izstrādāt elpošanas muskuļu attīstīšanas un elpas aiztures trenēšanas vingrinājumu kompleksu.

Testēšanā piedalījās 44 dažādu vecumu un kvalifikāciju peldētāji. Ar spirometrijas metodi tika novērtēti elpošanas sistēmas vidējie rādītāji 44 peldētāju grupai. 1. tabulā var redzēt iegūtos vidējos rezultātus.

1. tabula

### Elpošanas sistēmas vidējie rādītāji (n = 44)

Dzimums	Vecums	FVC	FEV1	FIV1	PEF	PIF
Vīrieši	Juniori	6,17±0,55	5,49±0,47	4,81±1,47	9,67±1,36	7,6±1,50
	Pieaugušie	6,57±0,78	5,67±0,53	5,37±1,63	10,24±1,02	9,5±1,67
	Vidēji	6,37±0,70	5,58±0,12	5,09±0,39	9,95±0,40	8,55±1,34
Mērvienības		l	l	l	l/s	l/s
Sievietes	Juniores	4,38±0,63	3,91±0,57	3,08±1,03	7,26±1,26	5,64±1,53
	Pieaugušas	5,34±0,89	4,67±0,55	4,55±0,94	7,88±0,55	6,59±0,73
	Vidēji	4,86±0,67	4,29±0,53	3,81±1,03	7,57±0,43	6,15±0,67

(FVC – forsētā vitālā kapacitāte; FEV1 – forsētās izelpas tilpums vienā sekundē; PEF – maksimālais izelpas ātrums; FIV1 – forsētas ieelpas tilpums vienā sekundē; PIF – maksimālais ieelpas ātrums).

Veicot analīzi, konstatēts, ka peldētājiem FVC pārsniedz izrēķinātos lielumus 90,91% gadījumu (41 peldētājiem), 4,55% ir mazāki par paredzētajiem lielumiem (2 peldētājiem), 2,27% atbilst izrēķinātajai normai (1 peldētājam). Vīriešiem konstatēts lielākais rādītājs 7,81 litri; vidējais 6,37±0,70 litri; savukārt sievietēm lielākais rādītājs ir 6,08 litri, bet vidējais ir 5,34±0,89 litri. Iegūtie rezultāti atbilst zinātniskajā literatūrā publicētajiem peldētāju FVC rādītājiem (Солопов, 1988; Булгакова, 2001; Colantonio et al, 2008; Григонене & Скирене, 2006; Зуозене и др., 2007; Bougault et al., 2009; Диверт & Кривошеков, 2013; Кривошеков и др., 2013; Priya, 2014; McCabe, Sanders & Psycharakis, 2015; Нарскин и др., 2016).

Visai pētāmajai grupai atrastas statistiski ticamas atšķirības starp iegūtajiem rezultātiem un izrēķinātajiem lielumiem – norma izrēķināta, ņemot vērā personas rasi, augumu, svaru, vecumu un dzimumu.

16 – 17 gadu veciem jauniešiem konstatētais FVC vidējais rādītājs ir 6,17±0,55 litri, salīdzinājumā ar izrēķināto – 5,18±0,27 l – rezultāts ir lielāks par 0,99 l; vidējais konstatētais FEV1 ir 5,49±0,47 l/s, t.i., par 1,16 l/s lielāks nekā paredzētais 4,34±0,47 l/s. Konstatētais PEF ir 9,67±1,36 l/s, t.i., par 1,39 l/s lielāks nekā paredzētais – 8,28±0,28 l/s. Iegūtie rezultāti liecina par atrastajām statistiski ticamajām atšķirībām visos pētāmajos parametros.

16 – 17 gadu vecām peldētājām konstatētais FVC vidējais rādītājs ir 4,38±0,63 litri, kas ir par 0,37 l lielāks nekā izrēķinātais 4,01±0,45 l; konstatētais vidējais FEV1 ir 3,91±0,77 l/s,

t.i., par 0,49 l/s lielāks nekā paredzētais 3,42±0,38 l/s. Konstatētais PEF 7,26±1,26 l/s ir par 1,32 l/s lielāks nekā paredzētais 5,94±0,47 l/s. Iegūtie rezultāti liecina, ka statistiski ticamajās atšķirībās starp FEV1 un PEF T testa rādītājs ir mazāks par 0,05. Starp konstatētajiem un paredzētajiem FVC parametriem statistiski ticamas atšķirības nav atrastas.

Pieaugušiem vīriešiem konstatētais FVC vidējais rādītājs ir 6,57±0,78 l, kas salīdzinājumā ar izrēķināto 5,70±0,44 l ir par 0,87 l lielāks; konstatētais vidējais FEV1 ir 5,48±0,71 l/s, t.i., par 0,78 l/s lielāks nekā paredzētais 4,70±0,40 l/s. Konstatētais PEF 10,27±0,95 l/s ir par 0,15 l/s mazāks nekā paredzētais 10,42±0,56 l/s. Iegūtie rezultāti liecina par atrastajām FVC un FEV1 parametru statistiski ticamajām atšķirībām. Izelpas ātrumā statistiski ticamas atšķirības nav atrastas un konstatētais rezultāts ir mazāks par paredzēto.

Pieaugušo sieviešu grupā konstatētais FVC vidējais rādītājs ir 5,34±0,89 litri, kas ir par 1,19 l lielāks nekā izrēķinātais 4,15±0,32 l; konstatētais vidējais FEV1 ir 4,67±0,55 l/s, t.i., par 1,03 l/s lielāks nekā paredzētais 3,64±0,28 l/s. Konstatētais PEF rādītājs 7,88±0,55 l/s ir par 0,18 l/s mazāks nekā paredzētais 7,7±0,04 l/s. Iegūtie rezultāti liecina par atrastajām statistiski ticamajām atšķirībām starp konstatētajiem FVC un FEV1 rādītājiem. Izelpas ātrumos statistiski ticamas atšķirības nav atrastas.

Turpinot risināt pētījuma uzdevumus, veikta pieaugušo vīriešu un 16–17 gadu veco peldētāju elpošanas sistēmas parametru salīdzinošā analīze.

Konstatētais FVC vidējais rādītājs pieaugušo vīriešu grupā ir 6,57±0,78 litri, kas ir par 0,40 l lielāks nekā 16–17 gadu veco peldētāju rezultāts 6,17±0,55 l; konstatētais vidējais FEV1 ir 5,48±0,71 l/s, t.i., par 0,01 l/s mazāks nekā 16–17 gadu veco sportistu grupā konstatētais 5,49±0,47 l/s. Konstatētais PEF ir 10,27±0,95 l/s, kas ir par 0,60 l/s lielāks nekā 16–17 gadu veco peldētāju grupā konstatētais 9,67±1,36 l/s. Starp rezultātiem nav atrastas statistiski ticamas atšķirības. Izelpas ātruma jeb PIF rādītājs pieaugušiem vīriešiem ir 9,63±1,58 l/s, kas ir par 1,57 l/s lielāks nekā junioru grupas rezultāts 7,16±0,15 l/s, un šajā parametrā tiek atrastas statistiski ticamas atšķirības.

Pieaugušo sieviešu grupā konstatētais FVC vidējais rādītājs ir 5,34±0,89 litri, kas ir par 1,33 l lielāks nekā 16–17 gadu veco peldētāju rezultāts 4,01±0,45 l; konstatētais vidējais FEV1 ir 4,67±0,55 l/s, kas ir par 1,25 l/s lielāks nekā 16–17 gadu veco meiteņu grupā konstatētais 3,42±0,38 l/s. Konstatētais PEF ir 7,88±0,55 l/s, kas ir par 1,94 l/s mazāks nekā 5,94±0,47 l/s 16–17 gadu veco meiteņu grupā. Starp rezultātiem ir atrastas statistiski ticamas atšķirības. Izelpas ātrums jeb PIF rādītājs pieaugušām sievietēm ir 6,59±0,73 l/s, kas ir par 0,95 l/s lielāks nekā junioru grupas rezultāts 5,64±1,53 l/s, un starp šiem rādītājiem netiek atrastas statistiski ticamas atšķirības.

Interesanti dati iegūti, salīdzinot izelpas un ieelpas ātrumu. Speciālos pētījumos konstatēts, ka saistībā ar sporta veida specifiku peldētājiem maksimālās ieelpas ātrums pārsvarā ir lielāks nekā izelpas ātrums, taču Latvijas peldētāju rezultāti to neapstiprināja. Latvijas peldētāju vidējais izelpas ātrums (PEF) vīriešu grupā ir 10,27±0,95 l/s, sieviešu grupā – 7,88 l/s, kas ir krietni lielāks salīdzinājumā ar ieelpas ātrumu (PIF) vīriešiem (8,45 l/s) un sievietēm (5,94 l/s). Tas ir viens no iemesliem, kāpēc Latvijas peldētāji efektīvi neizmanto zemūdens posmu.

Turpinot risināt pētījuma uzdevumus, veikta pieaugušo vīriešu un 16–17 gadu veco peldētāju sacensības rezultātu (FINA punkti) salīdzinošā analīze.

Izanalizējot iegūtos datus, var secināt, ka vidēji augstvērtīgākus rezultātus FINA punktos sasniegusi vīriešu grupa – 628±70,6. Salīdzinot ar sieviešu aritmētiski vidējo rezultātu 592±61,9 punkti, starpība ir 6,08%, un starp šiem rādītājiem nav statistiski ticamas atšķirības ( $p = 0,1115$ ). Junioru grupā zēnu rezultāti (588,43±61,35) un meiteņu rezultāti (574±59,09) atšķiras par 2,44%, starp tiem arī nav statistiski ticamas atšķirības ( $p = 0,5589$ ). Statistiski ticamas atšķirības parādās tikai starp pieaugušo vīriešu (674,17±55,01) un 16–17 gadu veco junioru (588,43±61,35) vidējiem rezultātiem: starpība procentos – 14,63% ( $p = 0,0011$ ).

Korelācijas analīze tika veikta ar mērķi noteikt pieaugušo un jauno peldētāju elpošanas sistēmas parametru un sacensību rezultātu savstarpējās sakarības. Korelācijas analīzei tika izvēlēti šādi parametri:

- 1) FVC – forsētā vitālā kapacitāte (šeit mērīta forsētā izelpā). Tas ir maksimālais gaisa tilpums, ko cilvēks var forsēti (strauji un dziļi) izelpot pēc dziļas ieelpas;
- 2) FEV1 – forsētās izelpas tilpums vienā sekundē, t.i., cik gaisa var paspēt izelpot pirmajā izelpas sekundē;
- 3) PEF – maksimālais izelpas ātrums;
- 4) FIV1 – forsētas ieelpas tilpums vienā sekundē, t.i., cik gaisa var ieelpot sekundes laikā;
- 5) PIF – maksimālais ieelpas ātrums;
- 6) sacensību rezultāts pēc FINA punktiem.

Likumsakarību noteikšanai starp divām dažādām izlasēm izmantota korelācijas matrica un Pirsona korelācijas koeficients.

2. tabula

### Elpošanas sistēmas parametru un sacensību rezultātu korelācijas analīze

FVC	FEV1	FIV1	PEF	PIF	* $p \leq 0,05$
0,39	0,09	0,48	0,05	0,63*	Vīrieši
0,19	0,02	0,55*	-0,25	0,22	16 -17 g. v.
0,08	-0,1	0,38	0,12	0,75*	18+
0,22	0,12	0,33	-0,15	0,12	Sievietes
-0,28	-0,38	-0,02	-0,59*	-0,01	16 – 17 g.v.
0,17	0,05	0,1	0,42	-0,22	18+
0,36	0,24	0,50	0,15	0,53	Visi kopā

(FVC – forsētā vitālā kapacitāte; FEV1 – forsētās izelpas tilpums vienā sekundē; PEF – maksimālais izelpas ātrums; FIV1 – forsētas ieelpas tilpums vienā sekundē; PIF – maksimālais ieelpas ātrums).

Korelācijas koeficienti pētāmajai grupai kopā svārstās: sacensību rezultāts (FINA punkti) ar forsēto vitālo kapacitāti FVC ( $r = 0,360$ ), FEV1 ( $r = 0,240$ ), PEF ( $r = 0,150$ ) un FIV1 ( $r = 0,50^*$ ) un PIF ( $r = 0,53^*$ ). Korelācijas koeficientu vērtības svārstās starp vidēju un vāju.

Vīriešu grupā visciešāk sacensību rezultāts statistiski ticami korelē ar maksimālo ieelpas ātrumu ( $r = 0,630^*$ ), starp forsēto ieelpas tilpumu vienā sekundē ( $r = 0,480$ ) un forsēto vitālo kapacitāti ( $r = 0,390$ ) korelācija ir vidēja, bet nav statistiski ticama. Vāja korelācija noteikta ar forsētās izelpas tilpumu vienā sekundē ( $r = 0,008$ ) un maksimālo izelpas ātrumu ( $r = 0,05$ ).

Pieaugušajiem vīriešiem lielāki korelācijas koeficienti konstatēti starp sacensību rezultātu (FINA punkti) un PIF ( $r = 0,75^*$ ), FIV1 ( $r = 0,38$ ) (sk. 25. pielikumā).

Junioru grupā visciešāk ar sacensību rezultātu (FINA punkti) korelē FIV1 parametrs – forsētas ieelpas tilpums vienā sekundē ( $r = 0,55^*$ ) (sk. 26. pielikumā).

Sieviešu grupā korelācijas koeficienti iegūti starp sacensību rezultātu (FINA punkti) un forsēto ieelpas tilpumu vienā sekundē ( $r = 0,33$ ), forsēto vitālo kapacitāti ( $r = 0,220$ ).

Pieaugušām sievietēm: PEF ( $r = 0,42$ ), PIF ( $r = -0,22$ ), FVC ( $r = 0,17$ ), FIV1 ( $r = 0,1$ ) un FEV1 ( $r = 0,05$ ) (sk. 27. pielikumā). Junioru grupā: PEF ( $r = -0,59^*$ ), FEV1 ( $r = -0,38$ ), FVC ( $r = -0,28$ ), FIV1 ( $r = -0,02$ ) un PIF ( $r = -0,01$ ) (sk. 28. pielikumā).

Galvenie secinājumi: Ciešāka korelācija tiek konstatēta starp maksimālais ieelpas ātrumu ( $r = 0,75^*$ ) pieaugušajiem vīriešiem un forsēto ieelpas tilpumu vienā sekundē ( $r = 0,55^*$ ) vīriešu junioru grupā. Korelācijas koeficientu vērtības svārstās starp augstu un vidēju.

Ceturtajā apakšnodalā **“3.4. Elpošanas sistēmas parametru attīstīšu vingrinājumu kompleksa modificēšana un tā realizācijas ietekmes uz sacensību rezultātiem analīze”** galvenie uzdevumi bija: pamatojoties uz individuālajiem jauno peldētāju elpošanas sistēmas novērtēšanas rezultātiem un zinātniskajā literatūrā atrastajiem ieteikumiem un aprakstītajām likumsakarībām, modificēt elpošanas sistēmas parametru attīstīšanas vingrinājumu kompleksu. Tā izveidē ņemtas vērā:

1. Peldēšanas sporta īpatnības;
2. Mūsdienīgās tendences peldēšanas sacensībās;
3. Individuālās sportista peldēšanas sistēmas īpatnības.

Elpošanas muskuļu attīstīšanas un elpas aiztures trenēšanas vingrinājumu kompleksā izmantoti elpošanas muskuļus attīstošie, elpas aiztures pilnveides vingrinājumi un speciālie peldēšanas vingrinājumi. Kompleksu veido trīs daļas, divas uz sauszemes: elpošanas muskuļu attīstīšanas vingrojumi un elpas aiztures vingrojumi un viena ūdenī - peldētāju speciālie elpas aiztures vingrinājumi. Komplekss sastāv no 9 vingrojumiem un 3 vingrinājumiem. Elpošanas muskuļu attīstīšanai un krūškurvja paplašināšanai paredzēti 4 vingrojumi. Ieelpas aiztures pilnveidošanai paredzēti 4 vingrojumi uz sauszemes un 4 vingrinājumi ūdenī. Astoņi elpošanas vingrojumi uz sauszemes palīdzēs izveidot elpošanas ritmu, novērst seklu elpošanu, sekmēt krūškurvja paplašināšanu, plaušu tilpuma palielināšanu, ieelpas muskulatūras spēka pieaugumu.

Elpošanas muskuļu attīstīšanas vingrojumus un elpas aiztures pilnveides vingrojumus jāizpilda trīs reizes nedēļā pirms peldēšanas treniņiem. Izpildes laiks - līdz 20 minūtēm pirmajā nedēļā, kas pakāpeniski palielinās līdz 30 minūtēm ceturtajā nedēļā.

Peldētāju speciālie elpas aiztures pilnveides vingrinājumi ūdenī iekļauti peldēšanas treniņa programmā, tie jāizpilda trīs reizes nedēļā, pakāpeniski samazinot ieelpas skaitu distancē un elpas aiztures laiku. Pirmās trīs vingrinājumus ieteicams iekļaut iesildīšanās daļas nobeigumā, vai galvenās daļas sākumā. Ieteicamais iekļaušanas grafīks: pirmdien - pirmais vingrinājums, trešdien - otrais, piektdien - trešais. Ceturtais vingrojums ir paredzēts nobeiguma daļai, to ieteicams iekļaut treniņu programmā 3 reizes nedēļā: otrdienās, ceturtdienās un sestdienās. Peldētāju speciālie elpas aiztures pilnveides vingrinājumi ūdenī risina šādus uzdevumus: elpošanas ritma izveidi ūdenī, seklas elpošanas novēršanu, ieelpas muskulatūras spēka pieaugumu, adaptācijas procesa veidošanu hipoksijai.

**“3.4.1. Peldētāju elpošanas sistēmas parametru attīstošu vingrinājumu kompleksa modifikācija un aprobācija”.** Lai pārbaudītu hipotēzi: ja peldētāju specialajā fiziskajā sagatavošanā tiks pielietots modificēts elpošanas sistēmas parametru attīstošs vingrinājumu komplekss, tad pilnveidosies zemūdens posma veikšanas efektivitāte, kas savukārt uzlabos distances veikšanas laiku peldēšanas sacensībās, tiek rīkots pedagoģiskais eksperiments.

Pirmajā izmēģinājuma sesijā 2022. gada aprīlī tika testēta 16 – 17 gadu veco Latvijas peldētāju elpošanas sistēma.

Eksperimentā piedalījās 33 jauni (16 – 17 g.), labi apmācīti (trenējas vismaz 14 h nedēļā) vietējie Latvijas peldētāji no dažādiem peldēšanas klubiem un sporta skolām. Visi peldētāji ar sporta pieredzi  $\pm 8$  gadi, pārsvarā specializējušies uz īsām un vidējām distancēm (50–400 m) un kopumā trenējas 45 – 48 nedēļas gadā baseinā un sporta zālē, treniņi parasti ir 20,0 $\pm$ 2,0 stundas nedēļā. No vairākiem elpošanas sistēmas rādītājiem tika izvēlēti trīs parametri: FVC – forsēta vitālā kapacitāte, PIF – maksimālais ieelpas ātrums, PEF – maksimālais izelpas ātrums. Forsēta vitālā kapacitāte tika izvēlēta, lai pierādītu grupu viendabīgumu. Zinātniskajā literatūrā atrastas liecības, ka PIF un PEF rādītāji atspoguļo centrālo elpceļu lielumu un spēku, ko rada tieši ieelpas un izelpas muskuļi.

No astoņpadsmit peldētājiem (16,5±2,0 gadi, 180,03±6,1 cm, 70,82±7,36 kg, vidējais rezultāts – 495,61±79,94 FINA punkti, 7 jaunietes un 11 jaunieši) tika izveidota kontroles grupa. Šie peldētāji izpildīja tikai treniņu sesijas bez elpošanas vingrinājumu kompleksa.

No piecpadsmit peldētājiem (16,5±2,0 gadi, 176,37±5,98 cm, 66,03±9,35 kg, vidējais rezultāts – 482,47±46,55 FINA punkti, 7 jaunietes un 8 jaunieši) tika izveidota eksperimentālā grupa. Šie peldētāji izpildīja savus treniņu sesijas, kā arī piedāvāto elpošanas sistēmas parametru attīstošu vingrinājumu kompleksu.

Ar matemātiskās statistikas metodi tiek pierādīts abu grupu viendabīgums.

Vidējais PIF rādītājs eksperimentālajā grupā ir 6,38±0,25 l/s, kontroles grupā – 7,30±1,40 l/s (T tests – 0,1497). Vidējais PEF rādītājs eksperimentālajā grupā ir 8,39±1,70 l/s, kontroles grupā – 8,38±1,82 l/s (T tests – 0,9932). Sacensību rezultāti FINA punktos vidējais rezultāts eksperimentālajā grupā ir 482,47±46,55, kontroles grupā – 495,61±79,94 (T tests – 0,5784). Antropometrijas vidējie rezultāti: vidējais augums eksperimentālajā grupā – 176,37±5,98 cm, kontroles grupā – 180,03±6,1 cm (T tests – 0,0934); vidējais svars eksperimentālajā grupā – 66,03±9,35 kg, kontroles grupā – 70,82±7,36 kg (T tests – 0,1098). FVC vidējais rezultāts eksperimentālajā grupā – 4,7±0,78 l/s, kontroles grupā – 5,21±,76 cm (T tests – 0,0660); lai gan abi rādītāji atšķiras, starpība nav statistiski ticama.

Iegūtie rezultāti pierāda grupas viendabīgumu, izvirzītā hipotēze, ka starp grupām nav statistiski ticamas atšķirības, apstiprinājās. T testa vērtības ir robežās no 0,0577 līdz 0,9932 punktiem.

Otrajā izmēģinājuma sesijā pēc eksperimentālā perioda abām grupām atkārtoti tika noteikti antropometriskie mainīgie, FVC, PIF, PEF un peldēšanas rezultāts 100 m distancē FINA punktos.

Atkārtotai sacensību rezultātu fiksācijai izvēlēts 73. Latvijas U-19 čempionāts 2022. gada 8. un 9. aprīlī Jelgavā, kurā piedalījās visi eksperimenta dalībnieki.

Iegūtie dati pierāda elpošanas vingrinājumu kompleksa pozitīvo iedarbību uz elpošanas sistēmas muskulatūras attīstību. Eksperimentālajā grupā FVC rādītājs bija 4,83±0,85 l – pieaugums 4,55%; PEF rādītājs bija 8,57±2,12 l – pieaugums 2,12%, bet notikušās izmaiņas nav statistiski ticamas. Savukārt ieelpas ātruma spēka rādītājs PIF palielinājās vidēji par 27,12%, un šīs izmaiņas ir statistiski ticamas (T tests – 0,0395). Atsevišķos gadījumos novērota izaugsme no 3,82 l/s līdz pat 9,8 l/s, pieaugums sasniedza 156,54% no sākotnējā lieluma. Sacensību rezultāta izaugsme vidēji grupā bija 6,73±3%. Izmaiņas nav statistiski ticamas (T tests – 0,0577), bet ir ļoti tuvu 5%. Lielākā izaugsme konstatēta sportistam S. K. – 13,65%, mazākā – 1,65% (sportists J. S.). Sacensību rezultātu uzlabojumu sekmēja efektīva distances daļas (starta un pagrieziena daļa) veikšana, kura saistīta ar zemūdens viļņveida kustībām, izmaiņas ir statistiski ticamas (p = 0,0472).

Kontroles grupas dalībnieki pildīja tikai ierastos treniņuzdevumus un neveica elpošanas vingrinājumus. Kontroles grupā FVC rādītājs sasniedza 5,22±0,87 l – pieaugums 0,38%; PEF rādītājs sasniedza 8,44±1,55 l – pieaugums 0,72%; ieelpas ātruma spēka rādītājs PIF palielinājās vidēji par 0,82% – 7,36±1,55 l. Konstatētās izmaiņas nav statistiski ticamas. Sacensību rezultātu dinamika kontroles grupā ir no 3,31 līdz – 1,68%. Konstatēta sacensību vidējā rezultāta izaugsme par 0,14% (T tests – 0,9799), savukārt, distances daļas, kuras ir saistītas ar kāju zemūdens viļņveida kustībām izmaiņas - 0,09%. Statistiski ticamas izmaiņas nav bijušas.

## 4. DISKUSIJA

### *Diskusija par Latvijas peldēšanas čempionātu finālistu sacensību distances veikšanas parametriem un to salīdzinājums ar 2016. gada Eiropas čempionāta finālistu parametriem*

Izlasot speciālo literatūru un izpētot sacensību darbības, var secināt, ka sacensību distances veikšanas parametri ir rūpīgi pētīti visā pasaulē, lai atrastu augstu sacensību rezultātu

cēloņus. Tam daudz uzmanības pievērš arī kaimiņvalstu speciālisti: Igaunijā kinezioloģijas profesors Rein Haljand, Lietuvā PhD Valentina Skyriene. Diemžēl Latvijā padziļināta sacensību darbību analīze pirmo reizi veikta tikai 2017. gadā, apkopojot triju Latvijas atklātā vasaras čempionāta finālu rezultātus. Pētāmo sacensību izvēle nav nejauša – ikvienam Latvijas peldētājam Latvijas atklātais vasaras čempionāts ir lielākās un svarīgākās sacensības sezonā, jo čempionātā var izpildīt nākamā Eiropas vai pasaules čempionāta atlases normatīvus.

Iegūtie rezultāti apstiprināja pieņēmumu, ka ātrākais distances posms ir pirmie 15 metri pēc starta; tas attiecas uz visiem peldēšanas stiliem gan vīriešu, gan sieviešu konkurencē. Pieņēmums attiecas uz Latvijas un Eiropas labāko peldētāju rezultātiem neatkarīgi no peldēšanas stila, sacensību distances, peldētāja vecuma, trenētības pakāpes, kā arī dzimuma. Tas pierādīts gan pasaules un Eiropas pētījumos, gan publicēts zinātniskajā literatūrā (Thompson, Haljand, Cooper, Palfrey, 2000; Mason, Cossor, 2001; Veiga, Cala, Mallo, Navarro, 2013; Morais, Marinho, Arellano, Barbosa, 2018), gan arī tiek pierādīts mūsu pētījumā.

Iegūtie rezultāti atklājuši rezerves zemūdens posma veikšanā. Starptautiskās peldēšanas federācijas noteikumi (FINA SW 5.3) paredz, ka pēc starta un katra pagrieziena sportistam ir atļauts 15 metrus nopeldēt zem ūdens, viļņveidā kustinot kājas. Tātad olimpiskajā baseinā 100 m distancē zem ūdens var peldēt maksimums 30 metrus. Eiropas elites peldētāji un Latvijas labākie sportisti vidēji peld attiecīgi  $21,13 \pm 2,38$  m, t.i., 70,43% no atļautā attāluma, un  $17,66 \pm 2,84$  m, t.i., 58,87% no atļautā. Abos gadījumos ir rezerve tālākai sacensību rezultāta izaugsmei.

Mūsu pētījuma trūkums ir ierobežotais pētāmo subjektu skaits ( $n = 40$ ). Lai gan analizēti 262 trīs sacensību videoieraksti ar mērķi noteikt sacensību distances veikšanas parametrus un analīze veikta 100 m distancē četros peldēšanas veidos, pārsvarā tika pētīts šaurs dalībnieku loks. Fināla peldējumos trīs gadu laikā atkārtoti atlasīti vieni un tie paši sportisti.

### **Diskusija par kāju zemūdens viļņveida kustību tehnikas izkopšanu dažādu kvalifikāciju un vecumu peldētājiem**

Viens no pētījuma uzdevumiem bija atrast iemeslus, kāpēc zemūdens daļa netiek izmantota efektīvi, kā arī veikt padziļinātu teorētisko pētījumu par kāju zemūdens viļņveida kustību tehnikas mehāniku un biomehāniku.

Pētījuma rezultāti sakrīt ar zinātniskajā literatūrā (Wadrzyk, Nosiadek & Staszkiwicz, 2017) publicētajiem pierādījumiem, ka jaunajiem peldētājiem salīdzinājumā ar pieaugušajiem, ir raksturīgs mazāks peldēšanas ātrums, viļņveidā kustinot kājas zem ūdens. Izpētīto peldēšanas tehnikas elementu jaunajiem peldētājiem raksturoja zema kustību amplitūda un frekvence, liels ceļa locītavas saliekums un augsts Strouhala skaitlis. Jaunajiem peldētājiem jāpievērš uzmanība kāju zemūdens viļņveida kustību ritmam, ko raksturo lielas amplitūdas un frekvences vērtības. Jāuzsver, ka kustību amplitūdu nevajadzētu palielināt, vairāk saliecot ceļus.

Kā zināms, augstākus sporta rezultātus cilvēks demonstrē, sasniedzot savu fizioloģisko un psiholoģisko briedumu, kas atkarīgs no cilvēka vecuma. Piemēram, labākus sporta rezultātus peldēšanā eiropēdās rases pārstāvji sasniedz 20 – 25 gadu vecumā. Tāpēc ļoti svarīgi jau pašā sporta karjeras sākumā iemācīt pareizu peldēšanas tehniku, kustību precizitāti un to pakāpeniski pilnveidot. Kustību stereotips veidojas, bērnam augot.

### **Diskusija par dažādu vecumu un kvalifikāciju peldētāju elpošanas sistēmas attīstību**

Viens no vissvarīgākajiem elementiem, kas ietekmē kopējo sporta rezultātu, ir fiziskā sagatavotība, kas fizisko slodžu izpildīšanas laikā palīdz uzturēt organisma iekšējo līdzsvaru.

Daudz intensīvākas slodzes apstākļos, t.i., treniņa laikā, aerobā efektivitāte ir vissvariīgākais faktors. Aerobā efektivitāte ir spēja ilgstoši veikt aerobo aktivitāti un pretoties nogurumam, darbinot lielās muskuļu grupas (Górski, 2006).

Ļoti svarīga un noteicoša nozīme ir arī gaisa daudzumam, ko satur plaušas, jo gaiss ir ievērojami vieglāks nekā ūdens. Tas ļauj secināt, ka peldētāju plaušu vitālās kapacitātes lielais apjoms pozitīvi ietekmē viņu spēju peldēt un visu organismu kopumā.

Konstatēts, ka Baltijas valstu peldētājiem FVC (forsētā vitālā kapacitāte) pārsniedz izrēķinātos lielumus 90,1% gadījumu (40), 4,55% ir mazāki par paredzētiem lielumiem (2), 2,27% atbilst (1 gadījums). Vīriešiem konstatēti lielāki rādītāji (lielākais 7,81 l, vidējais 6,57±0,78 l) nekā sievietēm (lielākais 6,08 l, vidējais 5,34±0,89 l).

Pētījuma trešā daļa bija veltīta Latvijas peldētāju elpošanas sistēmas izpētei. Lai nodrošinātu kvalitatīvu un profesionālu datu vākšanu, pieaicināta Rīgas Paula Stradiņa universitātes profesore Dr. med. Maija Rumaka.

Speciālo pētījumu rezultāti liecina, ka peldētājiem savdabīgās elpošanas dēļ ieelpas ātruma tilpums ir lielāks par izelpas ātruma tilpumu (Солопов, 1988; Verges et al., 2009; Диверт & Кривошеков, 2013; Кривошеков и др., 2013; Priya, 2014; McCabe et al., 2015; Нарский и др., 2016).

Izpētot Latvijas peldētāju elpošanas sistēmu, konstatēts, ka izelpas ātruma tilpums gan vīriešu grupā (PEF = 9,97 l/m), gan sieviešu grupā (PEF = 7,46 l/m) ir lielāks nekā ieelpas tilpums (vīriešu grupā (PIF = 8,45 l/m, sieviešu grupā PIF = 5,94 l/m). Iegūtie rezultāti ir pretrunā ar speciālajā literatūrā publicētajiem datiem un pilnībā izskaidro, kāpēc Latvijas peldētājiem ir grūtības efektīvi nopeldēt distances zemūdens posmu.

Viens no darba trūkumiem – neizdevās iegūt informāciju par elites peldētāju ārējās elpošanas sistēmas parametriem. Ar lielu pārliecību var teikt, ka Eiropas čempionāta finālistu korelācijas koeficienti, iespējams, ir lielāki, taču zinātniskie pētījumi, kas to apliecinātu, netika atrasti.

### **Diskusija par modificētā peldētāju elpošanas sistēmas parametru attīstošā vingrinājumu kompleksa ietekmi uz peldētāju elpošanas sistēmu un sacensību rezultātu**

Analizējot pieejamos literatūras avotus, tika konstatēts, ka elpošanas sistēmas funkciju pilnveidei sportā un tās ietekmei uz sacensību rezultātiem uzmanību pievērš vairāki autori (Clanton et al., 1987; Boutellier et al., 1992; Boutellier & Piwko, 1992; Markov et al., 2001; Stuessi et al., 2001; Sonetti et al., 2001; Wells et al., 2005; Leddy et al., 2007; Mickleborough et al., 2008; Kildings et al., 2010; Lemaitre et al., 2013; Karsten et al., 2018).

Atšķirības starp mūsu pētījumā iegūtajiem un literatūrā publicētajiem rezultātiem daļēji var izskaidrot arī ar metodoloģiskām atšķirībām. Dažos pētījumos vai nu nav iekļauta kontroles grupa (Boutellier et al., 1992; Boutellier & Piwko, 1992), vai arī izmantota kontroles grupa, kas piedalījās fiktīvos treniņos (Wells et al., 2005; Mickleborough et al., 2008; Kilding et al., 2010). Rezultātu atšķirības dažādu autoru pētījumos, iespējams, ir saistītas ar specifisko vienlaicīgo ieelpas un izelpas muskuļu treniņu, kas precīzāk imitēja elpošanas ierobežojumus peldēšanas laikā un varēja veicināt krūškurvja izplešanos (elpošanas muskuļi) un saraušanos (izelpas muskuļi), kā arī to, ka mūsu pētījuma dalībnieki ir jaunāki (16,5±2,4 gadi). Wells et al. (2005) pētījumā līdzīga vecuma peldētāju ieelpas un izelpas muskuļu treniņprogramma radīja izmaiņas, kas sakrīt ar mūsu pētījumā iegūtajiem FVC datiem, bet ne FEV1, lai gan viņu treniņu periods bija ilgāks (12, nevis 4 nedēļas). Mēs uzskatām, ka šīs neatbilstības varētu būt saistītas ar pētījumu atšķirīgu plānojumu. Iepriekšējos pētījumos tika iesaistīti elites un pieaugušie peldētāji (Clanton et al., 1987; Mickleborough et al., 2008), savukārt šajā pētījumā iesaistīto personu vecums un trenētības līmenis ir mazāks nekā citu autoru pētījumos iesaistītajām

personām. Šo apstākļu (t.i., mazāk trenēti un jaunāki) funkcionālais iznākums bija tāds, ka šajā pētījumā iesaistītie peldētāji ātrāk sasniedza maksimālo ieelpu un izelpu (Clanton et al., 1987).

Mūsu pētījumā elpošanas muskuļu attīstīšanas un elpas aiztures treniņš tika veikts speciālas sagatavošanas periodā, savukārt citos pētījumos ieelpas muskuļu treniņi (IMT) tika veikti sacensību fāzē (Mickleborough et al., 2008). Kilding et al. (2010) pētījums, kurā konstatēta nozīmīga ieelpas muskuļu treniņu (IMT) ietekme, tika veikts treniņprocesa sākumposmā. Wells et al. (2005) un Karsten et al. (2018) pētījumos netika sniegta informācija par treniņu periodu, kurā pētījums veikts, tomēr ieelpas un izelpas muskuļu treniņprogrammas ietekme varētu būt nozīmīgāka sezonas sākumā, jo tā labāk palīdz peldētājiem pielāgot elpošanas funkciju peldēšanas slodzei. Sacensību periodos labāk trenētie peldētāji var negūt labumu no šīs ietekmes. Tāpēc treniņu periods varētu būt svarīgs noteicošais faktors, kas vismaz daļēji izskaidro novēroto rezultātu atšķirības.

Zinātniskajā literatūrā ir atrodami pētījumi, ka elpošanas muskuļu izturības treniņš uzlabo sacensību rezultātus (no 1,8% līdz 4%) gan netrenētām, gan trenētām personām riteņbraukšanā (Markov et al., 2001; Stuessy et al., 2001; McMahon et al., 2002; Kildings et al., 2010) un skriešanā (Leddy et al., 2007), lai gan ne sistemātiski, ja tas saistīts ar ieelpas muskuļu izturības treniņiem (Sonetti et al., 2001).

Lai gan mēs neveicām elpošanas parametru mērījumus peldēšanas laikā, šis pēdējais aspekts būtu īpaši svarīgs elites peldētājiem, jo viņiem ierobežotajā laikā (0,2–0,3 s), kad seja ieelpas brīdī atrodas virs ūdens, ir jāpalielina ieelpojamā gaisa daudzums, un līdz ar to peldēšanas laikā viņi arī izelpos vairāk gaisa. Šie rezultāti ir vieni no pirmajiem Latvijā, kas liecina, ka ar elpošanas muskuļu attīstīšanas un elpas aiztures vingrinājumiem var uzlabot gan elpošanas muskuļu spēku, gan uzlabot sacensību rezultātus sporta peldēšanā 16–17 gadu veciem peldētājiem (attiecīgi +27,12% un +2,15% attiecībā uz ieelpas un izelpas muskuļu spēku un +6,73% attiecībā uz sacensību rezultātu 100 m distancē). Šis secinājums saskan ar Kilding et al. (2010), Lemaitre et al. (2013) un Karsten et al. (2018) iegūtajiem datiem, kur, apvienojot peldēšanas treniņus ar ieelpas muskuļu treniņiem, palielinājās peldētāju elpošanas muskuļu spēks. Kildings et al. (2010) atzīmēja, ka ieelpas muskuļu treniņš pozitīvi ietekmē peldēšanas sacensību rezultātus. Salīdzinājumā ar Wells et al. pētījumu (2005), kurā piedalījās peldētāji, tika konstatēti sacensību rezultātu uzlabojumi – 3% un 4% attiecīgi 50 m un 200 m peldēšanas distancē, un tie bija lielāki nekā uzlabojumi, kas novēroti 100 m un 200 m peldējumā brīvajā stilā (par 1,7% un 1,5% salīdzinājumā ar kontroles grupu) (Kilding et al., 2010) un bija līdzīgi uzlabojumiem, kas novēroti skrējējiem (t.i., 4% Leddy et al., 2007). Wells et al. (2005) un Mickleborough et al. (2008) attiecīgi konstatēja, ka treniņnodarbības (TN) + elpošanas un izelpas muskuļu treniņprogramma un TN + ieelpas muskuļu treniņi (IMT) ir tikpat efektīvi kā TN + elpošanas un izelpas muskuļu treniņu programma un TN + izelpas-IMT. Tomēr viņi ziņoja par vairāku plaušu funkcijas rādītāju (FEV1 – forsētās izelpas tilpums vienā sekundē un/vai FIV1 – forsētas ieelpas tilpums vienā sekundē) uzlabojumiem, kas novēroti grupā, kas veica tikai elpošanas muskuļu izturības treniņu (EMIT). Kilding et al. (2010) konstatēja, ka ieelpas muskuļu treniņš (IMT) neizmainīja plaušu funkcijas peldētājiem, lai gan viņu sacensību rezultāti uzlabojās. Ir pierādīts, ka, elpošanas muskuļu spēkam pieaugot, palielinās plaušu tilpums (FVC) un diafragmas biezums un uzlabojas fiziskā izturība veseliem cilvēkiem (Sheel, 2002; Enright et al., 2006). Mūsu pētījumā konstatētās statistiski ticamās izmaiņas ieelpas ātrumā var izskaidrot ar to, ka treniņos Latvijas peldēšanas treneri nepievērš pietiekami daudz uzmanības ieelpas muskuļu spēka attīstībai. Pētījumā elpošanas spēka un ieelpas izturības treniņu kombinēšana ar ierastajiem peldēšanas treniņiem rezultējās sacensību rezultātu (FINA punktos) uzlabojumā – +6,73%; un  $P$  ir 0,057, kas ir ļoti tuvu statistiski ticamai vērtībai – 0,05, savukārt peldēšanas kustību biežums jeb temps un īrienu skaits palika nemainīgi. Pārējo parametru salīdzinoši nelielo uzlabojumu (FVC +4,55% ( $P$  – 0,501) un PEF ( $P$  – 0,801)) daļēji var izskaidrot ar salīdzinoši īso programmas ilgumu (t.i., četras nedēļas, līdzīgi kā Boutellier et



al. (1992) un Leddy et al. (2007) pētījumos); citu autoru pētījumos eksperimenta ilgums ir no 5 nedēļām (Sonetti et al., 2001) līdz 15 nedēļām (Markov et al., 2001), bet tas ir pakārtots peldēšanas sporta specifikai (visbiežāk sastopamais treniņcikla ilgums sacensību periodā).

Pētījuma rezultāti liecina, ka elpošanas muskuļu sistēmas attīstības un elpošanas aiztures pilnveides vingrojumu kompleksa iekļaušana peldēšanas treniņprocesā veicina peldētāju sacensību rezultāta uzlabošanu 100 m distancē. Tātad šiem faktoriem treniņprocesā ir būtiska ietekme uz peldētāju sportisko rezultātu uzlabošanu. Tāpat ir pamats atzīt, ka garākās distancēs (piemēram, 200 m un 400 m) palielinās fiziskās slodzes ilgums un aerobo procesu īpatsvars enerģijas ražošanā. Līdz ar to elpas aiztures un elpošanas muskuļu sistēmas attīstības vingrojumu kompleksa integrēšana treniņprocesā var uzlabot peldētāju sportiskos rezultātus ne tikai 100 metru distancē, bet arī 200 metru un garākās distancēs. Elpošanas muskuļu attīstības vingrinājumu kompleksu ieteicams izmantot 16–17 gadu veco peldētāju, kuri specializējušies 100 metru un garākās distancēs, mācību treniņprocesā.

## SECINĀJUMI

1. Veicot teorētisko izpēti par peldētāju sacensību darbības veidojošiem un elpošanas sistēmas parametriem un to ietekmi uz sacensību rezultātu peldēšanā, tika secināts:

- *100 metru distancē sacensību darbības veidojošie parametri ir: reakcijas laiks uz starta signālu; starta posms (distances pirmie 15 metri); “tūrās” peldēšanas posms; apgriezieni (5 m + 15 m) posms; finiša posms (5 metri).*

- *Sacensību rezultātu 100 m distancēs, neatkarīgi no peldēšanas veida un sportistu dzimuma, būtiski ietekmē pirmo 15 metru zemūdens peldēšanas ātrums un kāju zemūdens viļņveida kustību tehnika.*

- *Peldētāju elpošanas sistēmas parametru attīstības līmenis ir augstāks nekā izrēķināta norma pēc vecuma, auguma un svara.*

- *Peldēšanā liela nozīme ir maksimālajam ieelpas ātrumam (PIF) – maksimālais gaisa plūsmas ātrums, ko var sasniegt forsētā (maksimāli straujā un dziļā) ieelpā. Maksimālais ieelpas ātrums atkarīgs no ieelpas muskuļu, galvenokārt diafragmas, spēka.*

- *Spēja pēc ātras ieelpas aizturēt elpu un efektīvi viļņveidā kustināt kājas zem ūdens pēc starta lēciena un katra pagrieziena visa distances garumā ir cieši saistīta ar peldētāja speciālo fizisko sagatavotību, elpošanas sistēmas īpatnībām un vecumu, zemūdens posma veikšanas laiks ietekmē sacensību rezultātu.*

2. Latvijas peldēšanas čempionātu finālistu sacensību darbību parametri statistiski ticami atšķiras, salīdzinājumā ar Eiropas čempionāta finālistu 100 m distancēs parametriem. Eiropas čempionāta finālistiem, bija augstāki rezultāti: pirmo 15 m peldēšanas ātrumā ( $p = 0,01$ ); pagrieziena posma peldēšanas ātrumā ( $p < 0,001$ ); kā arī distances peldēšanas gala rezultātā ( $p = 0,03$ ). Savukārt, vidējais reakcijas laiks uz starta signālu ( $p = 0,94$ ), un “tūrās peldēšanas” posmā vidējais peldēšanas ātrums statistiski ticami neatšķiras ( $p = 0,11$ ) un līdzvērtīgi.

3. Latvijas pieaugušajiem peldētājiem (18+), salīdzinājumā ar junioriem, ir atšķirīga kāju zemūdens viļņveida kustību kinemātika: iegūtie dati liecina par to, ka starp pieaugušo (18+) un junioru vecuma peldētāju parametriem pastāv statistiski ticamas atšķirības ( $\alpha \leq 0,05$ ) zemūdens ātrumā (m/s), kustību biežumā, pēdu un ceļu amplitūdā, veiktajā distancē par vienu kustību, kā arī kustību skaitā. Apkopojot zinātniskās literatūras atziņas un promocijas darba iegūtos rezultātus tika izstrādātas rekomendācijas kāju zemūdens viļņveida kustībās pilnveidošanai:

- *$\pm 30$  grādi ķermeņa iegremdēšanās leņķim;*

- *visa zemūdens posma garumā jānotur hidrodinamiskā ķermeņa pozīcija (trieciena ķermeņa leņķis 3 - 5 grādi;*
- *kāju pirmās viļņveida kustību sākumam jābūt ne ātrāk kā sekundi pēc ķermeņa pilnas iegremdēšanās ūdenī;*
- *minimizēt roku kustības uz augšu-uz leju, galvai jābūt sagitālā plaknē vienā līnijā ar rokām;*
- *zemūdens viļņveido kustību izpildījums 0,8 - 1 m dziļumā;*
- *kāju zemūdens viļņveida kustību frekvence – 140±10 sit./minūtē;*
- *kāju zemūdens viļņveida kustību skaits 8 – 10.*

4. Latvijas pieaugušajiem peldētājiem (18+) gan vīriešu, gan sieviešu grupā, konstatēts ieelpas plūsmas ātruma ( PIF parametra) pārsvars salīdzinājumā ar junioriem, un starp šiem rādītājiem atrastas statistiski ticamas atšķirības. Plaušu forsētā vitālā kapacitāte pieaugušajiem ir lielāka nekā junioru grupas pārstāvjiem, bet statistiski ticamas atšķirības atrastas tikai sieviešu dzimuma pārstāvēm. Pēc veiktās analīzes konstatēts:

- *Latvijas peldētājiem forsētā vitālā kapacitāte (FVC) pārsniedz izrēķinātos lielumus 90,1% gadījumā ( $n = 43$ ), 4,55% ir mazāki par paredzētajiem lielumiem ( $n = 43$ ), 2,27% atbilst paredzētajai normai ( $n = 43$ ).*
- *Latvijas peldētāju vidējais izelpas tilpuma ātrums (PEF) vīriešu grupā (9,95 l/m) un sieviešu grupā (7,57 l/m) ir lielāks par ieelpas tilpuma ātrumiem (PIF) vīriešiem (8,55 l/m) un sievietēm (6,15 l/m), kas ir pretrunā ar zinātniskajā literatūrā atrasto informāciju.*
- *Pastāv cieša korelācija ( $r=0.75$ ) pieaugušajiem vīriešiem starp sacensību rezultātu (FINA punktiem) un maksimālo ieelpas ātrumu.*

5. Tika modificēts un prakse aprobēts elpošanas sistēmas parametru attīstošs vingrinājumu komplekss, kas sastāv no elpošanas muskuļu spēka attīstīšanas, krūškurvja paplašināšanas un ieelpas aiztures pilnveidošanas vingrinājumiem uz sauszemes un ūdenī (kopā 9 vingrojumi un 3 vingrinājumi). Aprobācijas laiks - 4 nedēļas, vingrinājumu komplekss tika pildīts 6 reizes nedēļā.

- *Tika konstatēta statistiski ticama peldētāju elpošanas sistēmas parametru attīstošu vingrinājumu kompleksa iedarbība, kā rezultātā uzlabojas peldētāju ieelpas ātrums ( $p < 0,05$ ).*
- *Panākta sacensību rezultāta izaugsme ( $p = 0,05$ ). Sacensību rezultātu uzlabojumu sekmēja efektīva distances daļas (starta un pagriezienu daļa) veikšana, kura saistīta ar zemūdens viļņveida kustībām.*

Promocijas darba izvirzīto uzdevumu īstenošanā, un pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem, tika sasniegts darba mērķis – tika modificēts elpošanas sistēmas parametru attīstošs vingrinājumu komplekss, novērtēta tā ietekme uz zemūdens posma veikšanas efektivitāti un sacensību darbību, izstrādātas rekomendācijas peldēšanas treneriem peldētāju kāju zemūdens tehnikas uzlabošanai, kā arī tika izstrādātas teorētiski pamatotas rekomendācijas kāju zemūdens viļņveida kustību tehnikas pilnveidei.

Pētījumā izvirzītā hipotēze tika apstiprināta: peldētāju elpošanas parametru attīstīšanas vingrinājumu kompleksa pielietošana peldētāju specialajā fiziskajā sagatavošanā, uzlabo ieelpas plūsmas ātrumu, kā rezultātā, pilnveidosies zemūdens posma veikšanas efektivitāte, kas savukārt uzlabos distances veikšanas laiku peldēšanas sacensībās.

## REKOMENDĀCIJAS PELDĒŠANAS TRENERIEM PAREIZAS KĀJU VIĻŅVEIDA KUSTĪBU TEHNIKAS UN PILNVEIDOŠANAI

Pamatojoties uz speciālās literatūras analīzes rezultātiem un jauno peldētāju zemūdens viļņveida kustību novērtēšanas rezultātiem, tika izstrādātas rekomendācijas pareizas zemūdens viļņveida kustību tehnikas pilnveidošanai peldēšanās treneriem. Rekomendācijas sagatavotas, ņemot vērā speciālajā literatūrā atrodamos hidrodinamikas un biomehānikas likumus, augsta līmeņa peldētāju kustību tehnikas analīzes parametrus un balstoties uz jauno peldētāju testēšanas individuālajiem rezultātiem. Rekomendācijas ietver: hidrodinamikas likumus, biomehānikas likumus, ka arī tās ietekme individuālas sportista īpatnības.

Pēc starta lēciena un katra pagrieziņa jāievēro šādi nosacījumi:

1. *Ķermeņa iegremdēšanās leņķim ūdenī jābūt diapazonā no 28 līdz 32 grādiem.*
2. *Jānotur hidrodinamiska ķermeņa pozīcija visa zemūdens posma veikšanas garumā, trieciena leņķis – 3 - 5 grādi.*
3. *Kāju viļņveida kustības jāuzsāk ne ātrāk kā sekundi pēc ķermeņa pilnas iegremdēšanās ūdenī pēc starta vai atgrūdienu no baseina sienas.*
4. *Jāizvairās kustināt rokas uz augšu un leju, kad galva iespiesta starp tām.*
5. *Zemūdens viļņveida kustības visefektīvāk tiek izpildītas 0,8 - 1 m dziļumā.*
6. *Kāju zemūdens viļņveida kustību ritmiskums un frekvence – 140±10 sit./min.*
7. *Kāju zemūdens viļņveida kustību skaitam ir jāvariē diapazonā no 8 līdz 10.*
8. *Treniņos pakāpeniski jāpalielina zemūdens viļņveida kustību skaits un zem ūdens pavadītais attālums.*
9. *Sagatavošanas procesā ir jāpielieto modificēto elpošanas sistēmas parametru attīstošo vingrinājumu kompleksu, zemūdens posma veikšanas efektivitātes un sacensību darbības rezultātu uzlabošanai.*

## PROMOCIJAS DARBA REZULTĀTUS ATSPoguĻOJOŠO ZINĀTNISKO PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

1) Jakubovskis, G., Zuša, A., Solovjova, J. (2022). Relationship between respiratory systems' parameters and result in swimming. LASE Journal of Sport Science. (Vol.13, No.2) (Vol.13, No.2) pp. 33-42.

[https://journal.lspa.lv/images//2022\\_1/2022\\_2/LASE\\_2022\\_jun\\_fin.pdf](https://journal.lspa.lv/images//2022_1/2022_2/LASE_2022_jun_fin.pdf)

2) Jakubovskis, G., Solovjova, J., Avotiņa, I. (2021). Анализ показателей соревновательной деятельности пловцов на 100 метровой дистанции, с целью поиска резервов улучшения спортивного результата. The 1. International scientific and practical conference. Katara, Doha. <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/issue/view/26-28.09.2021/92>

3) Jakubovskis, G., Solovjova, J. (2021). Сравнительный анализ показателей соревновательной деятельности пловцов на 100 метровой дистанции. IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием. Кривия, Казаņa. УДК 796.015.86 Pp. 576-580

[https://www.sportacadem.ru/files/NAUKA/files\\_nauka/sbornik\\_konferencii\\_18-19\\_febralya-2021\\_kazan.pdf](https://www.sportacadem.ru/files/NAUKA/files_nauka/sbornik_konferencii_18-19_febralya-2021_kazan.pdf)

4) Jakubovskis, G., Solovjova, J., Upitis, I., Dravniece, I. (2019). Indicators of External Respiration and the Effectiveness of Underwater Phase in Swimming. 5th international conference on lifelong education and leadership for all-icel. Azerbaijan state university of economics. Baku, Azerbaijan.  
<https://www.researchgate.net/search/Search.html?query=Indicators+of+External+Respiration+and+the+Effectiveness+of+Underwater+Phase+in+Swimming&type=publication>

## DALĪBA AR ZIŅOJUMIEM STARPTAUTISKAJĀS ZINĀTNISKAJĀS KONFERENCĒS

1. Jakubovskis, G., Solovjova, J., Zuša, A. (2022). *The analysis of competitive activity of the best Latvian swimmers at a 100m distance to compare the received results with the indexes of finalists of the European Championship 2016*. Science, Sport and Medicine XI (MVSF.TK.045). Tartu, Igaunija.

2. Jakubovskis, G., Zuša, A., Solovjova, J. (2022). Relationship between respiratory systems' parameters and result in swimming. 15. Baltijas Sporta zinātnes konference. Kauņa, Lietuva.

3. Jakubovskis, G., Solovjova, J. (2022). Latvijas peldēšanas izlases sportistu vilkmes spēka ūdenī analīze. 14th International Scientific Conference. Rīga, Latvija.

4. Jakubovskis, G., Solovjova, J. (2021). Сравнительный анализ показателей соревновательной деятельности пловцов на 100 метровой дистанции. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием “Проблемы и перспективы физического воспитания, спортивной тренировки и адаптивной физической культуры”. Россия, Казань.

5. Jakubovskis, G., Solovjova, J. (2019). *Augstākās klases peldētāju elpošanas tehnikas īpatnības ietekme uz sporta rezultātu un tās nozīmes izpēte*. Latvijas Sporta pedagogijas akadēmijas starptautiskā doktorantu un maģistrantu 11. zinātniska konference. Rīga, Latvija.

6. Jakubovskis, G., Solovjova, J. (2017). *Elpošanas īpatnības sportā peldēšanā*. Latvijas Sporta pedagogijas akadēmijas starptautiskā doktorantu un maģistrantu 9. zinātniska konference. Rīga, Latvija.

## ZINĀTNISKĀS DARBĪBAS BIOGRĀFIJA – CV

### Personas dati

Vārds, Uzvārds: Germans Jakubovskis

e-pasts: [germans.jakubovskis@lspa.lv](mailto:germans.jakubovskis@lspa.lv)

### Izglītība

2016. – 2020.g. Latvijas Sporta pedagogijas akadēmija, akadēmiskā doktora augstākās izglītības programma “Sporta zinātne” (51813).

1999.g. Latvijas Sporta pedagogijas akadēmija, maģistra grāds sporta pedagogijā.

1994. – 1998.g. Latvijas Sporta pedagogijas akadēmija, bakalaura grāds sporta pedagogijā, sporta pedagoga specialitāti ar peldēšanas trenera kvalifikāciju. Papildkvalifikācija – masieris.

### **Profesionālās darbības pieredze**

2018. – šobrīd Latvijas Sporta pedagogijas akadēmijas vieslektors.

2021. – šobrīd LSPA Viespētnieks, zinātniskais asistents.

2017. – šobrīd Latvijas Peldēšanas federācijās Sporta laboratorijas vadītājs.

2009. - 2012.g. un no 2016. - 2018.g. Latvijas Peldēšanas federācijās treneru komitejas priekšsēdētājs.

2000. - 2010.g. Rīgas 51. vidusskola sporta skolotājs.

1997. – šobrīd Rīgas 72. vidusskola peldēšanas treneris un sporta skolotājs.

### **Zinātniski pētnieciskā darbībā**

ES ESF projekts Nr.8.2.2.0/20/I/004 “Atbalsts doktorantu iesaistei zinātniski pētnieciskajā un stundu darbā”, 01.09.2021. – 31.08.2022.

LATVIAN ACADEMY OF SPORT EDUCATION



**Germans JAKUBOVSKIS**

**QUANTITATIVE PARAMETER IMPROVEMENT OF  
COMPETITIVE ACTIVITY AND THE RESPIRATORY  
SYSTEM OF SWIMMERS**

Summary of Doctoral Thesis

For obtaining a Doctoral Degree (*Ph.D.*) in the Branch of Health and  
Sports Science, in the Sub-Branch of Sport Pedagogy

**Scientific Supervisor**  
**Dr.paed., Prof. Jeļena Solovjova**  
**Scientific Advisor**  
**Dr.paed. Anna Zuša**

Riga, 2023

The Doctoral Thesis was developed at the Latvian Academy of Sport Education from 2017 to 2022.

**Scientific Supervisor:**

Prof. Dr.paed. **Jelena SOLOVJOVA**

**Scientific Advisor:**

Dr.paed. **Anna ZUŠA**

**Chair of the Promotion Council:** Prof. Dr.paed. **Juris GRANTS**

**Deputy Chair of the Promotion Council:** Prof. Dr.paed. **Jānis ŽĪDENS**

**Members of the Promotion Council:**

Prof. Dr.paed. **Agita ĀBELE**

Doc. *Ph.D.* **Valters ĀBOLIŅŠ**

Prof. Dr.paed. **Andra FERNĀTE**

Prof. Dr.paed. **Uldis GRĀVĪTIS**

Prof. *Ph.D.* **Jaak JÜRIMÄE** (University of Tartu, Estonia)

Assoc. Prof. *Ph.D.* **Anda KĪVĪTE - URTĀNE** (Rīga Stradiņš University)

Assoc. Prof. *Ph.D.* **Artur LITWINIUK** (Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw, Poland)

Prof. *Ph.D.* **Arvydas STASIULIS** (Lithuanian Sports University, Lithuania)

Assoc. Prof. *Ph.D.* **Signe TOMSONE** (Rīga Stradiņš University)

Prof. *Ph.D.* **Mati PÄÄSUKE** (University of Tartu, Estonia)

Assoc. Prof. Dr.paed. **Zane PAVĀRE** (LASE)

Prof. Dr.med. **Inese PONTAGA** (LASE)

Prof. Dr.paed. **Žermēna VAZNE** (LASE)

**Scientific Secretary of the Promotion Council:** Assoc. Prof. Dr.paed. **Irēna DRAVNIECE**

**Official Reviewers:**

Prof. Dr.biol. **Vahur ÖÖPIK** (University of Tartu, Estonia)

Prof. Dr.psych. **Kristīne MĀRTINSONE** (RSU)

Prof. Dr.paed. **Žermēna VAZNE** (LASE)

The defence of the Doctoral Thesis will be held on May 9, 2023, 3:30. p.m., room 205., LASE (Brivibas gatve 333, Riga).

The Doctoral Thesis and Summary are available in the LASE Library and at homepage [www.lspa.lv](http://www.lspa.lv).

ISBN 978-9934-520-65-5

## CONTENTS

<b>GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DOCTORAL THESIS .....</b>	<b>41</b>
<b>1. THEORETICAL RESEARCH ON PECULIARITIES OF COMPETITIVE SWIMMING.....</b>	<b>45</b>
<b>2. PRACTICAL RESEARCH METHODS AND PROCESS .....</b>	<b>53</b>
<b>3. ANALYSIS OF THE OBTAINED RESULTS.....</b>	<b>59</b>
<b>4. DISCUSSION .....</b>	<b>69</b>
<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>72</b>
<b>RECOMMENDATIONS FOR SWIMMING COACHES FOR DEVELOPING CORRECT UNDERWATER UNDULATORY SWIMMING TECHNIQUE ....</b>	<b>74</b>
<b>LIST OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS REFLECTING THE RESULTS OF THE DOCTORAL THESIS .....</b>	<b>75</b>
<b>PARTICIPATION WITH REPORTS IN INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCES .....</b>	<b>76</b>
<b>SCIENTIFIC RESUME – CV .....</b>	<b>76</b>



## GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DOCTORAL THESIS

Swimming is a world-renowned and developed sport, which has been included in the Summer Olympic Games since 1896. Covering various distances in the shortest time possible is the main goal of this sport. Since 2000, records have been achieved in swimming three times more often than in track and field athletics. As a result, the technical and physical preparedness of swimmers is subject to more and more higher requirements, which arouses the interest of sport specialists and promotes scientific research.

Latvian swimmers regularly participate in international competitions. Speaking of high achievements (Olympic medals), only three athletes can be mentioned: Jānis Konrads, Georgijs Kuļikovs and Arsens Miskarovs (Jākabsons, 2015; Nacionālā enciklopēdija, 2018). Moreover, today's best Latvian swimmers can be proud of their achievements only in the junior group. In order to promote the performance of Latvian swimmers in competitions, it is necessary to look for new training methods and means.

A scientific approach to improving swimming technique can definitely give Latvian swimmers a competitive advantage. Researchers and analysts have paid a lot of attention to the competitive activities of finalists of the World and European Swimming Championships, and the issue of increasing technical preparation and the possibilities of improving results (Craig, Pendergast, 1979; Хальянд, 1986; Kennedy, Brown, Chengalur, Nelson, 1990; Arellano, Brown, Cappaert, Nelson, 1994; Thompson, Haljand, Cooper, Palfrey, 2000; Cossor, Mason, 2001; Клешнев, 2001; Tourny-Chollet, Chollet, Hogie, Pappardopoulos, 2002; Hellard, Dekerle, Avalos, Caudal, Knopp, Hausswirth, 2008; Robertson, Pyne, Hopkins, Anson, 2009; Mytton, Archer, St Clair, Thompson, 2014; Veiga, Navarro, Gonzales-Frutos, 2014; Skyriene, 2016).

In recent years, the greatest growth in the results of swimming competitions has been observed in connection with the underwater section. Researchers who have ever touched this topic unanimously note that “the underwater section is the fastest section of a competition distance, the result of which most affects the result of the competition in any distance, in any swimming style and for both genders” (Kennedy, Brown, Chengalur, Nelson, 1990; Arellano, Brown, Cappaert, Nelson, 1994; Colman, Persyn, Ungerechts, 1999; Cossor, Mason, 2001; Blanksby et al., 2001; Smith, Esau, Norris, Bidrmann, 2002; Ruschel, Araújo, Pereira, Roesler, 2007; Скирене, Зуозене, 2008, 2009; Collard, Oboeuf, 2009; Veiga, Roig, Gómez-Ruano, 2016; Shimojo, Naraa, Babaa, Ichikawaa, Ikeda & Shimoyama, 2019).

Several studies have been devoted to covering the underwater section. Thayer & Hay (1984) stated that the total underwater section distance in a 100 m swimming distance is up to 33%. Most of the research is on the technique and biomechanics of underwater undulatory swimming (Литвинов & Фоменко, 2005; Gavilán, Arellano & Sanders, 2006; Arellano, Terrés-Nicoli & Redondo, 2006; Zamparo, Vicentini, Scattolini, Rigamonti & Bonifaci, 2012; Hochstein & Blickhan, 2011, 2014; Atkison, Dickey, Dragunas & Nolte, 2014; Higgs, Pease & Sanders, 2015; Yamakawa et al., 2017; Wadrzyk, Nosiadek, & Staszkiwicz, 2017; Wadrzyk, Staszkiwicz, Zegler & Kryst, 2021). The efficiency of covering the underwater section is closely related to the ability of swimmers to quickly inhale 2 - 3 litres of air and hold their breath in order to move their legs underwater in a wave-like manner after the start jump and in each turn throughout the whole underwater distance. This is determined by the swimmer's special physical training, the peculiarities of the respiratory system and the age of the athlete (Садовников, 1979; Солопов, 1988; Bulgakova & Makarenko, 1996; Мосунов, 1998; Булгакова, 2001; Григонене & Скирене, 2006; Зуозене, Скирене, Кавалаяускас, Григонене & Печюнас, 2007; Edwards & Walker, 2009; Диверт & Кривошеков, 2013; Кривошеков, Диверт, Мельников, Водяницкий & Гиренко, 2013; McCabe et al., 2015; Нарскин, Мельников & Врублевский, 2016).

The peculiarities of the respiratory system of swimmers are widely described in scientific literature (Абрамов, 1964; Солопов, 1988; Wakayoshi, D'Acquisto, Cappaert et al., 1995; Cardelli, Lerda, Chollet, 2000; Wells, Pyley, Thomas, Goodman, Duffin, 2005; Pedersen, Kjendlie, 2006; Wylegala, Pendergast, Gosselin, Warkander, Lundgren, 2006; Kilding, Brown, McConnell, 2009; Диверт, Кривошеков, 2013; Pedersen, Kjendlie, 2014; McCabe, Sanders, Psycharakis, 2015; do Couto, Franken, de Souza Castro, 2015; Кривошеков, Диверт, Мельников, Водяницкий, Нарскин, Мельников, Врублевский, 2013; Диверт, Комлягина, Красникова, Мартынов, Тимофеев, Кривошеков, 2017).

However, there is less research on the respiratory system parameters that may be related to effective swimming during the underwater section (Dybinska, Kucia-Czyszczonek, Kasa, Staron, Chodiniow, 2012; Priya, 2014).

There is a lack of experimental research that answers the following questions: “How do the competitive activity parameters differ among finalists of the Latvian and the European Swimming Championships?”, “What are the kinematic and biomechanical indicators of underwater undulatory swimming?”, “What are the differences between swimmers of different qualifications?”, “What is the development level of the respiratory system of Latvian swimmers?”, “Are there any correlations between competition results (FINA points) and the respiratory system parameters?”, “Is the physical training of junior swimmers sufficient to effectively cover underwater sections?”, “How does respiratory muscle training affect the inspiratory muscle strength and competition results of junior swimmers?”, etc. These questions are especially relevant today, as the achievements of Latvian swimmers on the international scale are not comparable to the results of neighbouring countries. Taking into account the topicality of this issue, a study was conducted within the framework of the Doctoral Thesis, the results of which might help Latvian swimmers to achieve their best results by improving the functioning of the respiratory system, the ability to hold their breath, and the efficiency of covering the underwater section.

**Research item:** special physical and technical preparation of swimmers and competitive activity.

**Research object:** the effect of improving swimmers' competitive activity and the respiratory system parameters on competition performance.

**Research subject:** Latvian adult swimmers (18+), Latvian juniors (aged 16-17) and finalists of the 2016 European Championships.

**Research aim:** To modify a complex of exercises developing parameters of the respiratory system, to evaluate its impact on the efficiency of performing the underwater section and the competitive activity, as well as to develop recommendations for swimming coaches to improve the underwater leg techniques of swimmers.

**Hypothesis:** If a modified complex of exercises developing the respiratory system parameters will be used in the special physical preparation of swimmers, then the efficiency of performing the underwater section will improve, which in turn will improve the time of completing the distance in swimming competitions.

**Tasks:**

1. To theoretically analyse the parameters that form the competitive activity of swimmers and the respiratory system parameters, and to determine their influence on the result of competitive swimming.

2. To analyse the performance parameters of the finalists of the Latvian Swimming Championships and to compare them with the parameters of the finalists of the European Championships.
3. To analyse and compare the kinematic characteristics of underwater undulatory swimming of Latvian adult (18 +) and junior (aged 16-17) swimmers and to compile recommendations for swimming coaches for improving the swimmers' underwater undulatory swimming techniques in a 100 m distance.
4. To analyse the respiratory system parameters of Latvian swimmers and their correlations with competition results.
5. To modify and appropiate in practice a complex of exercises developing the parameters of the respiratory system of swimmers.

#### **Research methods:**

1. Analysis and compilation of special literature and scientific research data.
2. Cinematography (competitive activities and swimming techniques).
3. Document analysis/competitive activity analysis.
4. Spirometry.
5. Pedagogical experiment.
6. Methods of mathematical statistics.

**Research type:** A quantitative experimental research.

#### **Methodological substantiation of the research:**

1. The parameters forming the competitive activity in swimming – reaction time to the start signal, start phase (the first 15 meters of the distance), “clean swimming” phase, turn and finish phase (5 metres) (Хальянд, Тамп & Каал, 1986; Kennedy, Brown, Chengalur & Nelson, 1990; Arellano et al., 1994; Cossor & Mason, 2001; Blanksby et al., 2002; Smith, Esau, Norris & Bidrmann, 2002; Скирене & Зуозене, 2009; Скирене, 2010; Skyriene, 2016).
2. Biomechanical and hydromechanical basis of the swimming sport, which reveals the interaction of physical forces – the forces that propel the swimmer forward and the forces that hinder the swimmer's body movements in the water (Issurins, 1977; Оноприенко, 1981; Hay, 1993; Vorontsov & Rumyantsev, 2000 a,b; Toussaint, 1988, 2001; Vennell, Pease & Wilson, 2006; Arellano, Terrés-Nicoli & Redondo, 2006; Seifert; Коломогоров, 2008; Vantorre, Chollet & Seifert, 2014; Van Houwelingen, 2018).
3. Laws of hydrodynamics, which explain that: during underwater undulatory swimming, there is no wave resistance and the coefficient of the frontal resistance is 10-20% lower, compared to swimming on the water surface (Videler, 1993; Little & Blansky, 2000; Toussaint, 2001; Yamakawa et al., 2017), legs can generate greater hydrodynamic forces than arms (Voroncov & Rumjancev, 2000; Gavilán, Arellano & Sanders, 2006; von Loebbecke, Mittal, Mark & Hahn, 2009; Hochstein & Blickhan, 2014).
4. The kinematics of underwater undulatory swimming showed that underwater undulatory swimming in swimming includes two phases: a leg stroke downwards and a leg stroke upwards (Schönborn, 1998; Arellano, Pardillo & Gavilan, 2002; Psycharakis & Sanders, 2009; Atkison et al., 2014; Ide et al., 2017). According to the laws of biomechanics – the larger the negative angle, the more efficient the movement forward when lifting legs upwards. However, the anatomical curvature angle of the knee joint should not exceed a certain value (Shimojo et al., 2002; Литвинов & Фоменко, 2005). The underwater undulatory swimming technique affects the competition result (Ungerechts, Daly & Zhu, 1998; Arellano et al., 1999; Arellano, Terrés-Nicoli & Redondo, 2006; Hellard et al., 2008; Zamparo, Vicentini, Scattolini, Rigamonti & Bonifaci, 2012; de Jesus et al., 2013; Atkison, Dickey, Dragunas & Nolte, 2014;

Pacholak, Hochstein, Rudert & Brucker, 2014; Hochstein, Pacholak, Brücker, Siebert, & Blickhan, 2014; Connaboy, Naemi, Brown, Psycharakis, McCabe, Coleman & Sanders, 2015; Higgs, Pease & Sanders, 2015; Solovjova, 2017; Wadzyk, Nosiadek & Staszkiwicz, 2017; Ruiz-Navarro et al., 2021).

5. Description of the parameters forming the respiratory system, inspiratory and expiratory muscles, as well as the description of a breathing pattern. The capacity of a person's respiratory system determines the supply of oxygen to the skeletal muscles (Grants, 1973; Тевс, 1986; Taivans, 1997; Van de Graff, Fox, 1998; Sheel, 2002; Kibble & Halsey, 2009; Aberberga-Augškalne & Koroļova, 2007; Clemente, 2007; Scott & Fong, 2009; Mattson, 2009; Kibble & Halsey, 2009; Saladin, 2012; Rhoades & Bell, 2013; Ionescu, 2013; Molkov, Zoccal, Baekey, Abdala, Machado, Dick, Paton & Rybak, 2014; Zoccal, 2015).

6. Swimming has a beneficial effect on the development of the respiratory system, resulting in the formation of hypoxia tolerance. The breathing pattern changes during swimming, which increases inspiratory muscle strength and peak inspiratory flow, which affects the swimmer's performance in competitions (Бреслав, 1975; Садовников, 1979; Cordain, Tucker, Moon & Stager, 1990; Солопов, 1988; Bulgakova & Makarenko, 1996; Мосунов, 1998; Булгакова, 2001; Wells, Pyley, Thomas, Goodman & Duffin, 2005; Wylegala et al., 2006; Colantonio, Barros & Kiss, 2008; Григонене & Скирене, 2006; Зуозене et al., 2007; Bougault et al., 2009; Kilding, Brown & McConnell, 2010; Verges, Renggli, Notter & Spengler, 2009; Erlichman et al., 2010; Диверт & Кривошеков, 2013; Кривошеков et al., 2013; Priya, 2014; McCabe, Sanders & Psycharakis, 2015; Нарскин, Мельников & Врублевский, 2016). Findings on the specifics of the respiratory system of swimmers and the characteristics of its peculiarities.

7. Inspiratory muscle strength and peak inspiratory flow can be developed with yoga practice breathing exercises, as well as it can increase the breath retention time (Edwards & Walker, 2009; Кривошеков et al., 2013; Hakked, et al., 2017; Фролов, Ермолаева & Маничев, 2021), which in turn directly affects the results of swimming competitions (Абрамов, 1964; Солопов, 1988; Bulgakova & Makarenko, 1996; Мосунов, 1998; Булгакова, 2001; Григонене & Скирене, 2006;).

8. The athlete long-term adaptation theory explains that morpho-functional changes in the body occur gradually, under the influence of long-term exposure – by repeating special actions several times, which affect various body systems and are aimed at the peculiarities of special preparation of swimmers (Солопов, 1988, 2004; Booth & Thomason, 1991; Bougault et al., 2009; Диверт & Кривошеков, 2013; Кривошеков и др., 2013; Priya, 2014; McCabe, Sanders & Psycharakis, 2015; Costa, Belasekaran, Vilas-Botas & Barbosa, 2015; Нарскин и др., 2016; Платонов, 2004; 2017).

#### **Scientific novelty of the research:**

Within the framework of the Doctoral Thesis, detailed quantitative research was carried out on the competitive activity of adult and junior swimmers, and the parameters forming the competitive activity of Latvian swimmers were compared with the parameters of the finalists of the 2016 European Championships. Furthermore, an in-depth analysis of the respiratory system of Latvian adult (18+) and junior (aged 16-17) swimmers was performed. As a result, the correlations between the parameters of competitive activity, respiratory system and underwater undulatory swimming technique and the swimming competition result were proven

#### **Practical significance of the research:**

Theoretical substantiation of the parameters that form the competitive activity, which will enable coaches to objectively assess and correct the swimmer preparation process.

Recommendations for improving the underwater undulatory swimming technique have been summarized, which will allow to increase the efficiency of performing the underwater section and the competition result in competitive swimming.

A modified and approbated set of exercises developing the parameters of the respiratory system, which will allow to increase the efficiency of performing the underwater section and the competition result in competitive swimming.

**Theses put forward for defence:**

1. In competitive swimming, the fastest swimming section in the competition distance is the first 15 meters after the start, followed by the turn section (5+15 m). Its swimming speed depends on the efficiency of the underwater undulatory swimming technique.
2. The efficiency of underwater undulatory swimming is determined by the hydrodynamics and biomechanics of body and leg movements.
3. The swimming efficiency of the underwater sections depends on the development of the respiratory system and the strength of the inspiratory muscles.
4. There are correlations between the competitive result and parameters of the respiratory system – peak inspiratory flow in adult men and forced inspiratory volume in one second in the junior group.
5. The effect of the modified set of exercises developing the parameters of the respiratory system on the respiratory musculature will allow to accelerate the performance of the underwater section and improve the competition result in swimming.

**Research boundaries:** The boundaries of the research set in the paper include the competition and learning-training process in competitive swimming. The influence of the parameters forming the competitive activity on the result in competitive swimming, in 100 m distances, in the finals of the Latvian Championships from 2018 to 2020 were studied, and the obtained results were compared with the parameters of the finalists of the 2016 European Swimming Championships. Taking these results into account, it is determined in which parameters forming the competitive activity Latvian athletes lose to European elite swimmers and how these parameters could be optimized. In the Doctoral Thesis, the parameters of the respiratory system and their correlation with the competition result are determined. In the course of the research, a set of exercises developing the parameters of the respiratory system has been modified and approbated, and recommendations have been developed for swimming coaches for improving the underwater undulatory swimming technique. The Thesis includes a pedagogical experiment for swimmers aged 16-17.

## **2. THEORETICAL RESEARCH ON PECULIARITIES OF COMPETITIVE SWIMMING**

In the introduction of the Doctoral Thesis, the topicality and problem of the research paper is substantiated, and the scientific categories are formulated, indicating the scientific novelty and the theoretical and practical significance of the research, as well as the theoretically methodological basis of the research, the theses put forward for defence, and the determined boundaries of the research. The theoretical part of the research consists of seven sub-chapters.

In the first sub-chapter of the theoretical part of the Promotional Thesis **“1.1. Brief History and Development Dynamics of Competitive Swimming in the World and Latvia”**, the development history and dynamics of competitive swimming is described.

Olympic competitions in the pool take place in distances of 50 to 1500 meters, and swimmers compete in 35 disciplines. Moreover, there are four official types of swimming:

butterfly, backstroke, front crawl and breaststroke, and there is also medley swimming that includes all four types.

Analysing the statistics of swimming members of Latvia and its neighbouring countries, it can be concluded that the numbers are approximately equal – there are around 1500 registered (licensed) swimmers in Estonia and Latvia who participate in higher- or lower-level competitions, while there is no athlete licensing in Lithuania, and it is believed that around 3500 athletes are training in sport schools and clubs. Although Latvian swimmers have regularly participated in international competitions, currently only three athletes can be noted when it comes to high achievements (Olympic medals): Jānis Konrads, Georgijs Kuļikovs and Arsens Miskarovs (Jākabsone, 2015; Nacionālā enciklopēdija, 2018).

Sub-chapter **“1.2. Biomechanics and Hydrodynamics of Competitive Swimming”** has been developed by analysing literature sources and studying the hydrodynamics and biomechanics of competitive swimming.

The water resistance experienced by a swimmer is one of the most powerful factors affecting the result of any distance covered by the athlete. Swimming indicators can be improved by reducing resistance or by optimizing movement. Therefore, since the inclusion of competitive swimming in the list of Olympic disciplines, the research of this issue has remained relevant.

Forces acting on a swimmer in water:

$G$  – the force of gravity;

$F_t$  – the force of traction created by the swimmer's movements;

$F_a$  – the lifting force (Archimedes' principle);

$F_{in}$  – the inertial force produced by the acceleration and deceleration of the swimmer's body;

$F_{tr}$  – the force of friction;

$F_b$  – the frontal drag force of water;

$F_{tv}$  – the vortex-forming braking force (and the wave-forming force acting in the same direction).

In order to move forward in the water, the swimmer produces energy ( $P_s$ ) by moving the arms and legs in cyclic motions. It is necessary to maximize the body's mechanical (muscle) power and minimize the loss of power caused by water movements in order to optimize the swimmer's performance. Prerequisites and techniques of more rational movements in the water will greatly facilitate the understanding of the swimming technique.

1. The system of conditions under which the swimmer's movement occurs is strictly specific.
2. Since water has a high density, the swimmer's movements must have a strong support.
3. Since the support is mobile, a special organization of effort is required.
4. The swimmer's movements must be economical.

In this regard:

8) the body should be coverable by the flow of water throughout the movement cycle;

9) work movements must be performed with acceleration;

10) there must be no pauses or stops in the initiated movements;

11) the most effective is the contact of the momentum with the immobile mass of water;

12) the state of the momentum should be optimal in relation to the swimmer's direction of movement;

13) if other conditions are equal, the “horizontal component” should be more significant than the others;

14) in order to be able to create a greater force of traction, the area of the work planes must be larger and placed perpendicularly.

At the moment of motion, the lifting forces are greater than the sinking forces, and the driving forces are greater than the braking forces. It is easy to see how important footwork is in

swimming. In swimming, the foot is actually the main part of the leg. Leg movements help to maintain support, as well as to create the force of traction.

When analysing the efficiency of a stroke, it is necessary to take into account not only the speed of movement of individual parts of the arm, but also their shape and the cross-sectional area, projecting onto the vertical cross-sectional plane (the average cross-section). For example, the shape of the forearm can be compared to a regular plane, while the shoulder and upper arm – to a cylinder or a shortened cone. If the middle part (most effective part) of the stroke is observed, it turns out that the wrist moves on average 2-3 times faster than the upper arm. Consequently, the water resistance to the movement of the wrist can be almost 10 times greater than the resistance to the movement of the upper arm.

In the third sub-chapter of the theoretical part of the Doctoral Thesis “**1.3. Parameters Forming the Competitive Activity**”, the parameters that make up competitive activity are analysed.

Regardless of the competition regulation and the length of the pool, scientific literature (Kennedy et al., 1990; Arellano et al., 1994; Cossor, Mason, 2001; Blanksby et al., 2001; Smith et al., 2002; Скирєне, Зуозєне, 2008, 2009) usually distinguishes the following parameters of a competition distance: reaction to the start signal, which is followed by a jump from the start platform, swimming in front crawl, in breaststroke and in butterfly, or start in the water for backstroke swimming. After pulling away the legs from the start platform, the flight phase begins, which ends when the athlete touches the surface of the water. After the whole body is submersed in water, the underwater section begins. According to international rules, it is allowed to swim underwater for the first 15 metres after the start, swimming underwater undulatory, with the exception of the breaststroke where athletes use the “long stroke”. After the athlete appears above the water, the “clean swimming” section begins where the swimmer performs cyclic movements with his/her arms and legs according to the chosen type of swimming, followed by a turn – five meters to the wall of the pool, a turn and 15 meters after pushing off from the wall of the pool, where underwater undulatory swimming is allowed again. After the athlete appears above the water, the second “clean swimming” section begins; the movement frequency and the length of the stroke depends on the type of swimming and the individual characteristics of the swimmer. The last five meters of the distance until touching the wall of the pool are considered as the finishing section.

In recent years, the greatest interest has been focused on the analysis of swimming the underwater section. Several researchers have concluded in different ways that this section of the competition significantly affects the competition result in any type of swimming both for men and women. Furthermore, all the researchers who have ever looked at this topic agree: “The underwater section is the fastest section of a competition distance, the result of which has the greatest impact on the competition result in any distance in any swimming style and for both genders.” By mathematical calculation, it has been proven that when diving all 15 meters, as allowed by the rules, the percentage of the entire length of the pool in a 100-metre distance will be:  $15 \times 100 / 50 = 30\%$  in a 50-metre pool and  $15 \times 100 / 25 = 60\%$  in a 25-metre pool.

The presence of frontal resistance is determined by the hydrodynamic shape of the human body. In order to minimize the frontal resistance as much as possible, it is necessary to stretch both arms upwards and press them against the head, as well as place the forearms on top of each other (Hochstein, 2013; Solovjova, 2017). Thus, there is a very low coefficient of frontal resistance when swimming (Fish, 1993, 1998). The optimal form for movement in water is one which has a ratio of longitudinal and transverse body size of 6:1. In order to come close to these conditions, the water flow should cover the swimmer’s body well, the body should be stretched relative to the longitudinal axis, and a relatively high and dynamically balanced position should be taken. The angle of impact is 3–5° (Макаренко, 1983).

Underwater undulatory swimming, also known as the butterfly or dolphin kick, is an underwater movement technique used in competitive swimming. Some swimmers swim faster underwater than on the surface. This may seem surprising, as only the legs propel the body forward underwater, while on the surface the swimmer moves by moving all four limbs (Maglischo, 2003). The underwater section of the distance is part of swimming competitions, and it is in this section that the athletes demonstrate the highest speed, since the body does not create wave resistance when diving, and the swimmer is in an optimal hydrodynamic position at this moment.

*Toussaint* (2001) stated that “speed at the surface of water is limited by the formation of surface waves, which cause wave resistance”. When a swimmer moves along the surface, the water is pushed towards the swimmer. The waves are caused by pressure changes due to the different speeds of water flow around the swimmer. As speed increases, the “frontal wave” with increased size and inertia cannot flow fast enough and prevents the swimmer from increasing speed.

Voroncovs and Rumjancevs (2000a) also noted that larger hydrodynamic forces can be generated with the legs than with the arms, because:

- a) there is a large driving surface;
- b) there are no reverse movements of the legs during the work part;
- c) leg muscles are much stronger than arm muscles.

The underwater undulatory swimming should be performed as a whip-like motion, maximizing tail momentum transfer (i.e., speed of body waves) and vertical speed of toes. The duration of the upward movement should be reduced, and it should not be used as a recovery phase. In order to optimize the kick upwards, the hips should be extended before bending the knees, avoiding the horizontal movement of toes in the last phase of the kick upwards. During this phase, special attention should be paid to the angular speed of the knee and hip. It is possible to use the elastic energy of the tendons accumulated during the underwater undulatory swimming, reducing the transition time between phases (Arellano et al., 2002; Loebbecke et al., 2009; Atkison et al., 2014; Yamakawa et al., 2017).

When performing underwater undulatory swimming, the frequency of kicks should be taken into account. However, a higher frequency does not mean a higher movement speed. Kick frequency is specific to each swimmer, and one must find what works best for each individual. Movement speed can be improved by increasing the covered distance per stroke while maintaining the desired kick frequency of the swimmer. Furthermore, the range of one kick should depend on the range of motion of the hip, not the knee. Also, limitation of ankle joint movement causes compensatory movements that negatively affect the performance of underwater undulatory swimming. In order to improve the efficiency of underwater undulatory swimming, the strength of the plantar flexors and internal rotators of the ankle should be increased (Atkison et al., 2014; Shimojoa et al., 2021; Wądrzyk et al., 2019). Finally, in addition to the main factors described above, some individual characteristics should also be taken into account in order to avoid imposing the same underwater undulatory swimming technique on all swimmers. In short, in order to move more efficiently, a person uses both upward and downward kicks. Moreover, speed is limited by insufficient flexibility of the ankle, knee and hip joint, due to which a person is able to create only one vortex when moving legs downwards.

Effective swimming of the underwater section requires a hydrodynamic body position, and effective leg work, as well as the ability to hold one’s breath.

In the fourth sub-chapter of the theoretical part of the Doctoral Thesis “**1.4. Characteristics of a 100-M Distance**”, a distance of 100 meters is analysed separately. In order to achieve high results in a 100-meter distance, it is necessary to maintain a high pace of movement – around 60 movements per minute. When swimming at a speed of 2 m/s, only 0.2



s are allocated for inspiration, otherwise the technical performance could be hampered (Солопов, 1988). The heart rate reaches its peak indicators – 190–210 beats/m.

The energy supply of muscle activity can be determined according to the energy sources, as well as the body's ability to supply oxygen to the muscles (Solovjova, 2001; Maglischo, 2006; Colantonio et al., 2008). Depending on the nature of the energy supply for muscle activity, usually three mechanisms of energy production of the body are distinguished:

1. the aerobic mechanism,
2. the anaerobic glycolysis mechanism,
3. the anaerobic alactacid mechanism.

In scientific literature, various authors have described the effect of aerobic/anaerobic energy in a 100-meter distance differently: Platonov (2004) stated that aerobic and anaerobic energy sources contribute 20% and 80% respectively, while Hellard et al. (2008) believes that the contribution of anaerobic alactate is ~18%, while the contribution of anaerobic lactate is ~31%, and the contribution of the aerobic system is ~51%. Furthermore, research by J. Ribeiro et al. (2012) revealed that the relative proportion of energy sources was as follows: aerobic energy – 41.61%, anaerobic lactate – 34.78%, and anaerobic alactate – 23.61%. Moreover, Rodrigues and Mader (2003) stated that the contribution of aerobic processes in a 100 m distance is 54.1–61.4%. Meanwhile Capelli et al. (1998) believe that the proportion of aerobic processes in a 100 m distance is 33–46.5%. However, all authors report that the proportion of anaerobic processes depends on the athlete's age and specialization; it will be higher for short-distance swimmers (50–100 m) and adults compared to juniors and middle- and long-distance swimmers.

The obtained results prove the importance of the respiratory system in swimming a 100 m competition distance. It is especially important after the start jump, in which there is a rapid expiration with the aim of ensuring maximum tension for the execution of the start jump, in a limited time, i.e., in 0.34 seconds of the flight phase (Vilas-Boas et al., 2000; Зуозене, Скирене, 2009; Tor, Peasea, Ball, 2014), to manage to inhale 2–3 litres of air (Солопов, 1998) in order to obtain an air reserve and make it easier to swim out using the Archimedean lifting force.

In the fifth sub-chapter of the theoretical part of the Doctoral Thesis “**1.5. Respiratory System**”, scientific literature on the organs and tissues of the human respiratory system is analysed.

Breathing is a source of energy, an essential and important part of life (Бреслав, 1985). The respiratory system rhythmically takes in air and expels it from the body, thereby supplying the body with oxygen and releasing the carbon dioxide it produces.

In scientific literature, two zones of the respiratory system are distinguished (*the conducting zone* and *the respiratory zone*): airways (upper respiratory tract) and respiratory tract (lower respiratory tract).

The main respiratory organ is the lungs. The lungs consist of tiny bronchi, bronchioles, and alveoli (Ionescu, 2013). Scientific literature indicates that breathing is divided into two phases: inspiration and expiration, in the implementation of which both the respiratory muscles and joints are involved (Shephard, 1993; Scott, Fong, 2009; Saladin, 2012; Galeja, 2015). However, expiration is a passive process. The diaphragm and respiratory muscles relax, the volume of the chest decreases, and expiration occurs. Normally, muscles do not actively participate in expiration (Бреслав, 1985; Sherwood, 2012; Saladin, 2012; Galeja, 2015). Nonetheless, there are cases when expiration becomes an active process (laboured or increased breathing), for instance, when the bronchioles are spasmed (as in bronchial asthma) or when engaging in sport.

The diaphragm is the main muscle of the respiratory system (Тевс, 1986; Saladin, 2012; Blugers, 2015). The diaphragm (in Latin - *diaphragma*) is a dome-shaped muscle that separates the abdominal cavity from the chest. From the top, the diaphragm is covered by fascia and

pleura, form the bottom – by fascia and peritoneum (Blugers, 2015). The diaphragm provides about two-thirds of the airflow in the lungs (Saladin, 2012).

Breathing is a well-organized activity of several muscles, so it requires a central coordination mechanism. The respiratory centre is a multi-level structural and functional nervous system that automatically regulates breathing. The respiratory centre controls the breathing muscles, while breathing itself is controlled by the brain. It is both a conscious process that allows us to breathe in and out at will, and an unconscious and automatic process as we breathe mostly without thinking about it (Saladin, 2012).

Literature analysis confirms the beneficial effect of swimming on the respiratory system organ development and the functioning of the external respiratory system as a whole, and regular swimming has a positive effect on breath retention and can contribute to the improvement of respiratory reserves (Солопов, 1988, 2004; Булгакова, 2001; Bougault et al., 2009).

Swimming significantly differs from all other cyclic sports. The main difference is that a person works in a horizontal position when swimming, but the face is usually submerged in water, which makes breathing much more difficult. It is well-known that the water pressure on the chest depends on how deep the body is submerged in the water. Submergence of 1 centimetre causes an increase in hydrostatic pressure of 1 g/cm<sup>2</sup>. The surface of the chest if about 6000-10000 cm<sup>2</sup>, in a 50 cm depth (standing up to neck in water), the pressure on it is 30-50 kg. When lying in water on the chest, this pressure is 18 g/cm<sup>2</sup>, and when lying on the back – 10-15 g/cm<sup>2</sup> (Scott, Fong, 2009; Mattson, 2009; Rhoades, Bell, 2013).

The complex reflex mechanisms that enable breathing on land prove to be of little use in water. When swimming, the breathing mechanism is different: inspiration is fast and energetic, while expiration is active and extended; breath is held when inhaling; rhythm disturbances are possible due to unforeseen circumstances (for example, if water enters the trachea); also, the correlation between breathing and swimming pace is important (Солопов, 1988).

It is necessary to restructure the regulatory mechanism of the respiratory system. Development and strengthening of a special respiratory regime take place during long-term drills in the swimmer's sports training.

Correct respiratory technique in swimming is very important and learning it is the most important task when acquiring competitive swimming methods. It is rightly said: "The one who cannot breathe properly cannot swim."

The total duration of a respiratory cycle when swimming at a speed of 0.9 m/s is on average 2.1 seconds. As the speed increases to 1.7 m/s, the duration of the cycle decreases to 1.5-1.8 seconds. The inspiration phase lasts an average of 0.3 seconds, while the duration of expiration is 1.2-1.5 seconds. A swimmer should be able to inhale 2-3 litres of air. Therefore, the inspiratory volume of a swimmer is not lower than the inspiratory volume of a runner, skier, or a rower (Абрамов, 1964; Фарфель, 1975; Солопов, 1988, 2004).

Aerobic processes in the body are evaluated according to the following indicators: 1) peak oxygen consumption, and 2) the anaerobic threshold. Peak oxygen consumption is characterized by the development degree of aerobic processes in the body, its peak aerobic performance and general performance, and training.

Intensive physical load during swimming, the need to hold one's breath, the formation of a lack of oxygen leads to steadily increasing and long-lasting hypoxia. Hypoxia is a lack of oxygen, a low supply of the body with oxygen, or a decrease in the amount of oxygen in the tissues. The adaptive reactions aimed at preventing or reducing functional changes in the body caused by inappropriate environmental factors are called compensation mechanisms. The compensation mechanisms are part of the body's reserve forces. They are very effective in developing stable forms of adaptation and can maintain a relatively stable homeostasis for a

long time. Swimmers who experience breathing restrictions during training create adaptation mechanisms for hypoxia – their external breathing and gas exchange functions change, which allows them to maintain the ability to saturate the blood with oxygen in the lungs during hypoxia.

Breathing activity complicates the movement efficiency in the water environment. Representatives of sprint disciplines try to reduce the number of inspirations in order to maintain a high speed in the competition distance. The longer the distance, the greater the contribution of aerobic processes to the production of the necessary energy. That is why elite swimmers increase their breathing frequency so that the body gets the oxygen it needs. After the start of the distance and each turn, swimmers are forced to hold their breath for the underwater sections of the distance. Both women and men usually hold their breath for the last 5-8 strokes, increasing the swimming pace before the finish.

The sixth sub-chapter of the theoretical part of the Doctoral Thesis **“1.6. Respiratory System Assessment Methods, Respiratory System Parameters and Their Connection With the Competition Result”** describes the assessment methods of the respiratory system. Various methods of assessing the respiratory system can be found in scientific literature: interview, observation, percussion, auscultation, as well as instrumental and functional tests (Grants, 1973; Тебс, 1986; Taivans, 1997; Kible, Halsey, 2009).

In the Doctoral Thesis, spirometry was selected among the most common and most frequently used methods for studying external breathing functions. Spirometry (spiro ‘breathing’, -metry ‘measuring’) is a method of determining the living capacity of the lungs and its breathing volume. This method allows to evaluate the volume of expiratory air during calm and forced breathing, as well as the parameters of inspiration and expiration: force and speed. These indicators depend on the gender, age, height, and physical development of the person tested. The detected lung volume and VC should be compared with predicted values in order to assess the respiratory function.

Several respiratory function parameters have been determined in the published research, and a lot of attention within the framework of the Doctoral Thesis is paid to:

FVC – forced vital capacity (here measured in forced expiration) – it is the total amount of air that a person can forcefully (quickly and deeply) exhale after taking a deep breath;

FIVC – forced inspiratory vital capacity (here measured in forced inspiration) – it is the maximal volume of air that a person can forcefully (quickly and deeply) inhale after a deep expiration. The norm should be the same as FVC, and the difference should not be more than 100 ml or 5%;

PEF – peak expiratory flow;

PIF – peak inspiratory flow;

FEV1 – forced expiratory volume in the first second – how much air can be exhaled in the first second of expiration;

FIV1 – forced inspiratory volume in the first second – how much air can be inhaled in one second;

(Grants, 1973; Taivans, 1997; Kible, Halsey, 2009).

The amount of oxygen contained in the lungs is also very important and decisive, as it is significantly lighter than water. From this, it can be concluded that the large vital capacity of the lungs has a positive effect on the ability of swimmers to move underwater and on the body as a whole. Even during inspiration, the lifting forces increase enough to resist the body’s weight force (Czabanski et al., 2003). There is no doubt about the importance of an efficient respiratory system during exercise, especially in the water environment.

Taking into account the above, one of the tasks of this research was to determine the correlation between the sports result and the functional abilities of the swimmer, which are determined by the efficiency of the respiratory system.

In the seventh sub-chapter of the theoretical part of the Doctoral Thesis “**1.7. Development Methods of the Human Respiratory System**”, the adaptation theory and the development methods of the human respiratory system are studied and analysed. The search for ways to optimize human adaptation is conducted in several directions in order to obtain favourable changes as quickly as possible. One of the directions that is being developed is a targeted impact on the human respiratory system during the special training of swimmers (Кучкин, 1986, 1999; Солопов, 1989, 1996, 1998; 2004; Bougault et al., 2009; Диверт, Кривошеков, 2013; Кривошеков et al., 2013; Priya, 2014; McCabe, Sanders, Psycharakis, 2015; Нарский et al., 2016).

Adaptation of an individual organism – adaptation of an individual or physiological adaptation – is a set of physiological and biochemical reactions that provide the body with the opportunity to adapt to the environment by changing individual reactions and functions or by keeping them relatively unchanged. Adaptation of an individual takes place both at level of organs and cells.

Long-term adaptation occurs gradually by long-term or repeated exposure of the athlete’s body to certain irritants. In fact, long-term adaptation develops by repeated implementation of urgent adaptation, and it is characteristic that as a result of the gradual quantitative accumulation of certain changes, the body obtains a new quality – it goes from unadapted to adapted. Long-term adaptation reactions are heterochronic in nature. For instance, already 5-7 days after the start of intensive aerobic or aerobic-anaerobic training, the systolic volume of the heart and the cardiac output volume, as well as the rate of lactic acid removal from the muscles increases significantly. These changes can persist for 10-20 days after the end of the training (Phillips et al., 1996).

On the other hand, long-term training is necessary to change muscle tissue. A significant increase in the number of mitochondria, myoglobin, contractile protein, and enzyme levels, as well as the expansion of the capillary network can be observed no sooner than 4-7 weeks after intensive work (Maglischo, 2003; Kenney et al., 2012). Long-term adaptation consists of several stages.

The first stage is related to the systematic mobilization of the functional resources of an athlete’s body in the execution of a training programme of a certain orientation in order to stimulate long-term adaptation mechanisms, which are based on the summation of the effects of repeated short-term adaptation.

In the second stage, with systematically increasing and systematically repeating loads, intensive structural and functional transformations take place in the organs and tissues of the relevant functional system.

The third stage is characterized by stable long-term adaptation, which manifests as the necessary structural reserve for ensuring a new level of system functioning, stability of functional structures, close interaction between regulatory centres and executive organs.

The fourth stage occurs in irrationally designed, usually excessively intense training, with inadequate nutrition and recovery in the recovery process, and it is characterized by the deterioration of certain components of the functional system (Казначеев, 1984, Matos et al., 2011; Williams C. A., 2013; Платонов, 2017).

Training methods in natural (mountain) and artificial hypoxia conditions are widely used. They include both the most common breathing exercises and exercise systems. These include breathing in difficult conditions, such as breathing only through the nose, artificially increasing the movement and volume of inhaled air, and resistance. Breathing through additional residual volume is very effective, especially during muscle exertion. Breathing with a mixture of hypercapnic and hypoxic gases is also often used. There are many well-known attempts to teach various variants of voluntary control of breathing movements and the use of such voluntary control of breathing both at rest and during physical exertion.

Of particular interest is the literature on the effects of hypoxia on athletes, using natural and artificial hypoxia as an additional adaptogenic factor (Read, 1967; Кривошеков и др., 2013; Диверт и др., 2013, 2015, 2017).

The effects of various mixtures of mainly hypoxic and hypercapnic gases used to create artificial hypoxic and hypercapnic conditions and their combination are described quite widely in literature.

Breathing through additional residual volume is being investigated to create conditions of relative hypoxia and hypercapnia (D'Urzo et al., 1986; Солопов, Шляпников, 1986; Солопов, 1988; Булатова, Платонов, 1996).

## **2. PRACTICAL RESEARCH METHODS AND PROCESS**

The following theoretical and empirical methods were selected for the implementation of the tasks of the Doctoral Thesis:

1. Analysis and compilation of special literature and scientific research data.
2. Cinematography (video analysis of competitive activities and swimming technique).
3. Document analysis/competitive activity analysis.
4. Spirometry.
5. Pedagogical experiment.
6. Methods of mathematical statistics.

### ***Analysis and compilation of special literature and scientific research data***

The theoretical substantiation of the Doctoral Thesis is based on the analysis of scientific literature. The study of literature sources was carried out in the following main directions: components of a competition distance; mechanics and biomechanics of underwater undulatory swimming; human respiratory system and its indicators; comparison of swimmers' respiratory system, its development, and characteristics with the indicators of representatives of other cyclical sports; influence of underwater undulating swimming and respiratory system indicators on sports results. A total of 217 special literature sources were used, of which 163 were in English, 39 - in Russian, 10 - in Latvian, 1 - in Spanish, 2 - in Polish, and 2 - in German. The in-depth analysis of scientific literature helped to understand:

1. Basics of biomechanics of competitive swimming.
2. The parameters forming the competitive activity in competitive swimming.
3. Biomechanics of underwater undulatory swimming.
4. Peculiarities of the respiratory system of swimmers and the influence of their indicators on the competition result.

### ***Cinematography (video analysis of competitive activities and swimming technique)***

Cinematography was used in the Doctoral Thesis for the implementation of Task 2 and 3. For the realization of the research tasks, the competitive activities and the athletes' execution technique of underwater undulatory swimming were filmed.

In the Latvian Swimming Championships, the competition distance was recorded with the stationary camera "PANASONIC HC-VX870 4K ULTRA HD" (Japan). It is a digital camera that was placed at the highest point of the swimming pool and filmed the competition with a frequency of 60 frames/second and a resolution of 1920x1080 pixels, with the optical axis perpendicular to the water surface. The camera lens followed the swim, field of view – about 50x25 m. At the same time, all eight lanes along the entire length of the 50 m pool were

covered. The recording begins with the athletes stepping on the starting platform and ends with the finish of the swim.

The organizers of the 2016 European Championships provided high definition (HD) video recordings ( $f = 50$  Hz) of all competitions. A set of 10 “pan-tilt-zoom” cameras tracked the swimmers, and each lane had its own camera (ass v5915, Lund, Sweden). Each swimmer was followed by one of these cameras during the swim, making it possible to analyse the “clean swimming” sections. Two fixed cameras (AXIS q1635, Lund, Sweden) filmed both ends of the swimming pool and this allowed analysis of the start and the turn.

In order to study the kinematic characteristics of the underwater undulatory swimming of high- and medium-skilled swimmers, video surveillance was organized in the Ķīpsala swimming pool in November and December 2020. A mobile filming device was placed at the edge of the pool, the video recording of swimmers' underwater undulatory swimming technique was provided by two mobile synchronized high-frequency (frequency 60 frames/second) cameras (GO PRO 6, United States of America). The underwater camera was placed at a depth of 0.5 m. The dryland camera was located on a special device 1 meter above the water surface. The device (Swim.ee, Estonia) moved along with the study subject, and filming was done in the sagittal plane.



Figure 1. **Video Recording Equipment**; image from [www.swim.ee](http://www.swim.ee)

### ***Document analysis / competitive activity analysis***

The purpose of using this research method was to obtain information about the competitive activities of swimmers and the underwater undulatory swimming technique. The results were compiled for three years - from June 2019 to March 2020, the most important competitions in Latvia - Latvian Open Swimming Championships.

The obtained video materials were processed with the computer programme "iMovie" and the movements of the swimmers in competitions were analysed with the original system invented by Rein Haljand "Videoanalyzer 60p fps HD video by Rein Haljand", which was approbated in the European Swimming Championships. When working with video materials, it is possible to determine the following: reaction speed, distances that the athlete covers by underwater undulatory swimming, the frequency of movements, the length and number of strokes, the maximum and average times and speed of swimming distance sections. The performance parameters of the Latvian national team swimmers were recorded and compared with the parameters of the finalists of the 2016 European Swimming Championship.

Differences between the recorded parameters were determined by the method of mathematical statistics.

In the underwater section of the athlete's activities, the optical-electronic movement registration system "Filming Equipment. SWIM.EE" (Estonia) was used to analyse the kinematic characteristics of underwater undulatory swimming. Modern optical-electronic and mechanical-electric devices and hardware were used for the registration of the characteristics. The obtained records allow to visualize and digitize the trajectories of the selected body parts, to obtain the time characteristics of the movement, to calculate the displacements, accelerations, and speed of the registered points, to measure the linear and angular kinematics - the change of the joint angles, the linear velocities of body parts, accelerations, etc.

The kinematic characteristics of the underwater undulatory swimming movements of Latvian adult (aged 18+) and junior swimmers (aged 16-17) were recorded and compared with the characteristics found in scientific literature. The differences between the registered characteristics and the characteristics found in literature were determined by the method of mathematical statistics.

### ***Spirometry***

In order to investigate and assess the state of the respiratory system of high- and medium-skilled swimmers, determining the development level of various parameters of the respiratory system, and testing was organized in February 2020 with the help of Dr. med. Maija Rumaka, Professor of Rīga Stradiņš University. Modern mechanical and electrical devices and equipment were used to record the characteristics of the swimmers' respiratory system: an open-type pneumotachograph SP-250 (Schiller, Switzerland); SDS-104 programme (Shiller, Switzerland) was used to process the data.

In March and April 2022, a spirometry procedure with a "SpiroScout" spirometer (GANSORN Medizin Electronic GmbH, Germany) was additionally performed at the Research Centre of the Latvian Academy of Sport Education - it is a lung functional laboratory based on the "GANSORN" ultrasound flow measurement method. In accordance with ATS/ERS criteria, the data was processed with the programme "Ganshorn.LFX 1.9.0." (Germany).

### ***Pedagogical experiment***

By comparing the respiratory system parameters of Latvian junior swimmers with the data found in the scientific literature, a complex of exercises developing the respiratory system parameters for swimmers aged 16-17 was modified, theoretically substantiated, and applied and tested in practice in a pedagogical experiment. The pedagogical experiment lasted four weeks. The main inclusion criteria of the research participants were age (16-17 years old) and experience in the sport (not less than six years). A total of 33 swimmers participated in the experiment (15 – in the experimental group: 16.1±2.4 years old, 176.37±5.98 cm, 66.03±9.35 kg, 7 young women and 8 young men; and 18 – in the control group: 16.5±2.0 years old, 180.03±6.1 cm, 70.82±7.39 kg, 7 young women and 11 young men). If a research participant becomes ill or injured, he or she would be excluded from the experiment. At the end of the pedagogical experiment, a repeated registration of the respiratory system parameters of Latvian junior swimmers was carried out simultaneously with the registration of competition results. In order to test the effectiveness of the modified breathing complex, testing was organized at the Health Care in Sport Research Centre of the Latvian Academy of Sport Education in March and April 2022.

The main goal of the experiment was to test the effectiveness of the modified exercise complex and to compare the changes in the respiratory system parameters and competition results of the participants of the two groups (experimental and control group). A SpiroScout

spirometer was used for data collection, as spirometry is recognized as an accurate method in sports medicine. At the same time, changes in competition results were registered. For the course of the experiment, see sub-chapter 2.3. "Research Organization".

### ***Methods of mathematical statistics***

Processing of the data obtained in the experiments was carried out with the "Microsoft Office Excel" programme. Descriptive statistics were used for data processing: arithmetic mean, standard deviation, standard error.

The chi-squared test was used to check the conformity of the data to a normal distribution (the test is best suited for discrete data), on the basis of which the mathematical statistics method was chosen for further processing of the data. To determine a statistically reliable difference, the Student's T-test (in the case of a normal distribution of data) and Van der Waarden's test (in the case of data not corresponding to a normal distribution) were used, with a reliability interval of  $\alpha < 0.05$  (Насредов, 2004; Дубина, 2006; Riekstiņš - Riekstiņš, 2011). The value of  $\alpha$  is determined based on the "scientific convention" agreements that scientists have obtained based on practical experience in various studies. This value of  $\alpha$  is recommended for small samples.

Correlation matrix and Pearson's correlation coefficient were used to determine the correlations between two different samples. The correlation coefficient can be a value between -1 and +1; moreover, if the value is closer to 1, then it means that there is a strong correlation, and if it is closer to 0, then it means a weak correlation. More precisely: if the correlation coefficient is in the interval from 0 to 0.2, then the correlation is considered very weak; from 0.2 to 0.5 – the correlation is weak; from 0.5 to 0.7 – the correlation is average; from 0.7 to 0.9 – the correlation is high; from 0.9 and above – the correlation is considered very high.

### ***Research organization***

The implementation of the Doctoral Thesis research was divided into several stages, and the research lasted for four years - from September 2019 to April 2022. All experiments were coordinated with the Ethics Commission of the Latvian Academy of Sport Education (conclusion No. 3/51813, see Appendix 1).

**First Stage of the Research.** An analysis of scientific literature sources was carried out on the history of competitive swimming, hydrodynamics, biomechanics, parameters forming competitive activity, and its impact on competition results, the working mechanisms of the human respiratory system, respiratory musculature and changes in the development of the respiratory system parameters, which are formed as a result of long-term adaptations, as well as the correlation between the development of various respiratory system parameters and the competition results and performance was analysed.

**Second Stage of the Research.** In order to solve the task set in the Doctoral Thesis - to study the competition parameters of Latvian national swimmers and compare them with the parameters of the competitions of European elite swimmers, an in-depth analysis of competitive activities of the Latvian Swimming Championships was carried out.

The main tasks were:

To determine competitive activity parameters of Latvian swimmers (reaction time to the start signal, swimming speeds of individual distance sections; distances that athletes spend under water and on its surface; turning speed, etc.), comparing them with competitive activity indicators of the best European swimmers.

Descriptions of the selected competitive activity parameters are often found in scientific literature and are accepted in competitive swimming as components of the competition distance: reaction time to the start signal, the first 15 meters after the start jump, 30 meters of "clean



swimming”, 5 meters to the turn and 15 meters after it, 30 meters of “clean swimming”, 5 meters to the finish.

For three years, 262 final swims were analysed (72 – in the 94th Latvian Open Swimming Championships, 83 – in the 95th Latvian Open Swimming Championships, 107 – in the 96th Latvian Open Swimming Championships) in both men's and women's competition. Next, both men's and women's 100-meter swims were selected for further processing and analysis (24 - in the 94th Latvian Open Swimming Championships, 24 - in the 95th Latvian Open Swimming Championships, 24 - in the 96th Latvian Open Swimming Championships). The main selection criteria of the research participants were: Latvian nationality, qualification for the final swim.

**Third Stage of the Research.** The main task of the third stage was to study the kinematic characteristics of underwater undulatory swimming of Latvian swimmers of high and medium qualification and to compare them with the characteristics found in scientific literature. Video surveillance of the movements of the underwater section took place from November 2020 to December 2019 in the Ķipsala swimming pool.

The main selection criteria of the research participants were age (12 young swimmers – (age  $16.5 \pm 0.33$  years, height  $180.65 \pm 7.8$  cm, weight  $71.76 \pm 5.53$  kg); 8 adult swimmers – (age  $21.23 \pm 3.32$  years, height  $189.24 \pm 6.17$  cm, weight  $82.36 \pm 6.01$  kg) with more than 10 years of sports experience), specialization: butterfly, backstroke, front crawl.

The experiment was organized as closely as possible to the competition conditions. Before the video recording procedure, the participants of the experiment performed the usual individual general and special warm-up in their usual mode. Filming cameras were placed on special carts (one underwater, the other above water on a special device) and moved along with the athlete in the sagittal plane. During the video recording, the study participants swam a 25-meter distance at the competition speed after the start signal. Everyone had the opportunity to swim the distance three times. The rest interval was 5 minutes between repetitions. The underwater swimming technique was filmed with two mutually synchronized video cameras, and the obtained data were processed with a special programme.

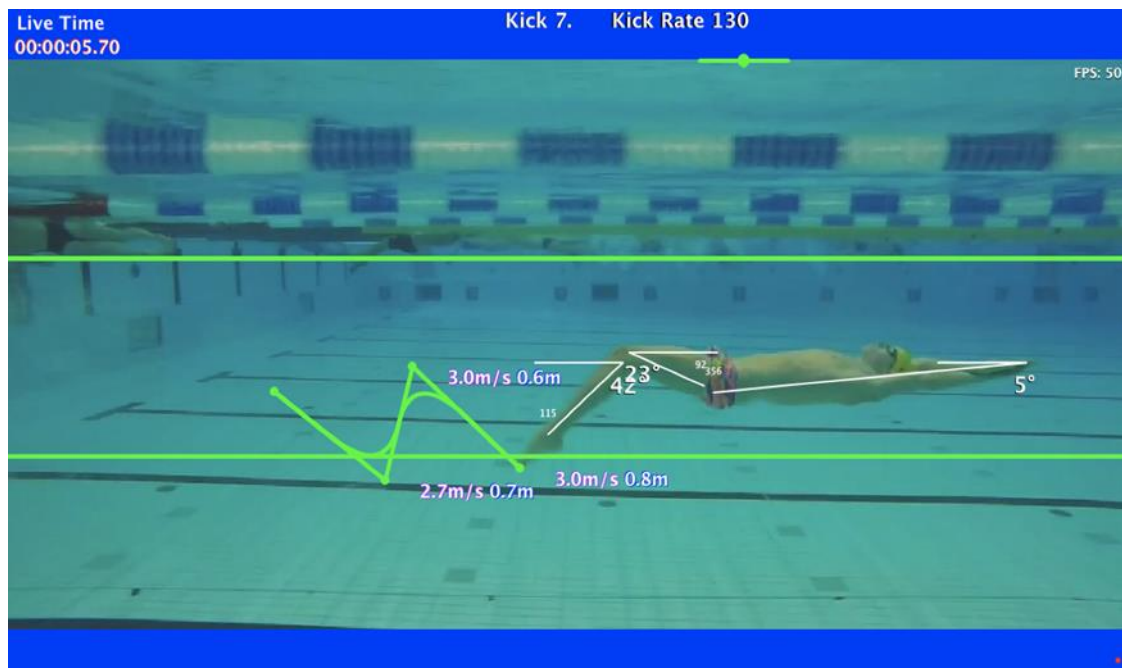


Figure 2. Experiment Process: Analysis of Underwater Undulatory Swimming

The frequency and amplitude of underwater undulatory swimming, the linear and angular kinematics - changes in joint angles, speed, body position and its fluctuations, hydrodynamic position, and the impact and immersion angle were determined.

Differences between the characteristics recorded in the research and those found in the literature were determined by the method of mathematical statistics. As a result, recommendations for coaches and new swimmers for improving the underwater undulatory swimming technique in a 100-m distance have been compiled.

**Fourth Stage of the Research.** The task of the fourth stage was to create an idea of the level of respiratory system development of Latvian swimmers and to modify an exercise complex that develops the respiratory system parameters. The following methods were used to perform the task: spirometry and mathematical statistics.

The research was organized:

- 1) to investigate the state of the respiratory system of high- and medium-skilled swimmers;
- 2) to investigate various parameters of the respiratory system and their correlation with competition results;
- 3) based on the obtained measurement data, to modify, theoretically substantiate and apply in practice an exercise complex developing the respiratory system parameters for young swimmers.

A total of 44 swimmers of different ages and qualifications participated in the experiment (28 men: 12 young swimmers - age  $16.5 \pm 0.33$  years, height  $183.85 \pm 3.46$  cm, weight  $74.26 \pm 7.53$  kg, and 16 adult swimmers - age  $21.23 \pm 3.32$  years, height  $187.84 \pm 7.17$  cm, weight  $83.17 \pm 10.01$  kg; 16 women: 11 young swimmers – age  $16.5 \pm 0.33$  years, height  $170.27 \pm 7.08$  cm, weight  $60.24 \pm 7.17$  kg, and 5 adult swimmers – age  $21.8 \pm 4.54$  years, height  $174.20 \pm 7.29$  cm, weight  $65.7 \pm 7.47$  kg).

In order to analyse the condition of the respiratory system of high- and medium-skilled swimmers, a laboratory experiment was organized in 2020 with the help of Dr. med. Maija Rumaka, Professor of Rīga Stradiņš University. Modern mechanical and electrical devices and equipment were used to record the characteristics of the state of the swimmers' respiratory system according to the ATS/ERS criteria - an open type pneumotachograph SP-250 (Schiller, Switzerland) with the SDS-104 programme (Schiller, Switzerland).

The best measurement (with the highest sum of FVC and FEV1) was used for data processing and then the following parameters were analysed:

- FVC – forced vital capacity (here measured in forced exhalation) – it is the total amount of air that a person can forcefully (quickly and deeply) exhale after taking a deep inspiration;
- FEV1 – forced expiratory volume in the first second – how much air can be exhaled in the first second of expiration;
- PEF – peak expiratory flow;
- FIV1 – forced inspiratory volume in the first second – how much air can be inhaled in one second;
- PIF – peak inspiratory flow.

The results obtained were processed using the method of mathematical statistics, and the correlation between the respiratory system parameters and the competition results (FINA points) was determined.

Competition results were assessed according to the official International Points Score (IPS) system used by the International Swimming Federation (FINA). The points (P) are calculated using the cubic curve according to the following formula:

$$P = 1000 * (B/T)$$

where T is the competition result in seconds and B is the base time in seconds. Base times are determined each year based on the latest world record approved by FINA (International Swimming Federation).

Based on the obtained correlation data, a theoretically substantiated complex of exercises for developing the respiratory system parameters for young swimmers was modified.

**Fifth Stage of the Research.** The purpose of the stage was to test the effectiveness of the modified breathing complex – whether the selected methodology ensures the growth of competition results. Therefore, a pedagogical experiment was organized.

Before the experiment, testing was carried out at the Research Centre of the Latvian Academy of Sport Education in March 2022, and the second testing - in April. In the research, two procedures for testing the respiratory system with the spirometry method were performed.

The first testing took place at the Research Centre of the Latvian Academy of Sport Education in March 2022, and the "SpiroScout" spirometer (GANSORN Medizin Electronic GmbH, Germany) was used for data collection. 33 young (aged 16-17), well-trained (train at least 14 hours a week) local swimmers who do not smoke and have normal lung function applied for the research from various swimming clubs and sports schools (Jelgava SPS, Jūrmala SS, RBJSS Rīdzene-Ziepniekkalns, "Sporta klubs SK DEFĪNS"). The research participants were divided into two homogeneous groups. Characteristics of the participants of the experiment: the experimental group of 15 people (age  $16.15 \pm 2.4$  years, height  $176.37 \pm 5.98$  cm, weight  $66.03 \pm 9.35$  kg), and a control group of 18 people (age  $16.5 \pm 2.0$  years, height  $180.03 \pm 6.1$  cm, weight  $70.82 \pm 7.36$  kg). All swimmers have  $\pm 8$  years of sports experience, they mostly specialize in short and middle distances (50–400 m) and train for a total of 43–45 weeks per year (at a pool and at a gym), the training duration is usually  $20.0 \pm 2.0$  hours per week. Research participants received no financial compensation for their participation, and all gave written consent to participate in the experiment.

Before the experiment, the best competition results of each research subject in a 100 meter distance in 2022 were recorded in FINA points. Competition results, athletes' individual achievements and result dynamics are available in the [www.swimrankings.net](http://www.swimrankings.net) database (the "Swimrankings" website collects the results of swimming competitions and automatically saves them in log files). Average competition results of the research group in FINA points: in the experimental group  $482.47 \pm 46.55^*$ , and in the control group  $495.61 \pm 79.94^*$  (\*  $p < 0.05$ ).

In the experiment, the swimmers in the control group performed only the usual training tasks without the respiratory exercise complex, while the swimmers in the experimental group performed the usual training tasks including exercises of the respiratory exercise complex.

After the experimental period (four weeks), anthropometric variables, FVC, PIF, PEF and swimming parameters (competition result in a 100 m distance in FINA points) were determined again. The 73<sup>rd</sup> Latvian U-19 Championship on April 8 and 9, 2022, in Jelgava was chosen for repeated recording of competition results.

The obtained results were processed with the method of mathematical statistics, and changes in the parameters of the respiratory system and competition results were determined.

### 3. ANALYSIS OF THE OBTAINED RESULTS

The third part of the Doctoral Thesis consists of three chapters, which successively reveal the solved research tasks. In the first sub-chapter "**3.1. Analysis and Comparison of Competitive Activity Parameters of Latvian Swimming Championship Finalists with the Parameters of the Finalists of the 2016 European Championship**", the task was to study the competitive activity parameters of the finalists of Latvian Championships and to compare them with the competitive activity parameters of the finalists of the European Championships. In the

research, an in-depth analysis of the competitive activities of the participants of the Latvian Swimming Championships was carried out.

The results of the Latvian Open Swimming Championships from 2019 to 2020 have been analysed (24 – in the 94<sup>th</sup> Latvian Open Swimming Championships, 24 – in the 95<sup>th</sup> Latvian Open Swimming Championships, 24 – in the 96<sup>th</sup> Latvian Open Swimming Championships). The three best results of Latvian swimmers in each swimming style in a 100 m distance were considered.

The result of swimming the distance, the speed during the distance, the reaction to the start signal, the time and speed of swimming the first 15 m, the time and distance of the underwater section after the start and the turn, the time and speed of the turn, the pace of movements during the distance, the length of the stroke, and the speed of "clean swimming" were determined. The obtained results were processed, and the arithmetic means of the competitive activity parameters were entered into tables.

Both genders were faster in freestyle, followed by butterfly, backstroke and breaststroke. The biggest difference in swimming results was found between freestyle and breaststroke for men and women (men:  $d = 11.44$  s; women:  $d = 16.54$  s). The lowest result difference was observed between the backstroke and the butterfly, also for both genders (men:  $d = 0.67$  s; women:  $d = 2.33$  s). This corresponds to the speed distribution of different swimming styles found in scientific literature (Solovjova, 2017; Morais et al., 2018).

In the first 15 meters, the highest speeds were recorded in men's freestyle ( $6.28 \pm 0.04$  s) and women's freestyle ( $6.96 \pm 0.06$  s). The lowest speeds were observed in breaststroke for both men and women (men:  $7.14 \pm 0.04$  s; women:  $8.44 \pm 0.11$  s). The swimming speed of the first 15 m (m/s) for men ( $2.38 \pm 0.2$ ), women ( $2.17 \pm 0.04$ ) in freestyle, the lowest speed for men in backstroke ( $2.07 \pm 0.1$ ), for women in breaststroke ( $1.80 \pm 0.1$ ).

As for the distance covered by athletes underwater, the longest result was found in women's backstroke ( $12.83 \pm 1.04$ ) and men's breaststroke ( $12.44 \pm 1.35$ ), the shortest - in both women's ( $9.06 \pm 0.82$ ) and men's ( $9.72 \pm 1.18$ ) freestyle.

Higher speeds were found in turns (5 meters before the turn and 15 meters after it) for both men and women - in freestyle swimming (men:  $10.72 \pm 0.09$  s, women:  $11.58 \pm 0.01$  s). The lowest speeds were observed in breaststroke in both women's and men's swims (men:  $12.94 \pm 0.12$  s; women:  $14.98 \pm 0.2$  s).

Combining the time of swimming the first 15 meters and the turn, it can be concluded that the best results were achieved by swimmers in freestyle (men:  $18.48 \pm 0.12$  s; women:  $18.48 \pm 0.12$  s). Athletes spent ~30% of the distance time in the combined start and turning section, and this applies to all four swimming styles. The results of the research prove the great influence of the start and turning section on the competition results.

The distance after the turn: the best results were achieved by men in breaststroke ( $9.06 \pm 0.34$  m) and women in backstroke ( $8.33 \pm 0.76$  m); shorter distances were found in freestyle –  $6.19 \pm 1.3$  m for men and  $4.61 \pm 0.35$  m for women.

In order to carry out the research task - to compare the competition parameters of the Latvian national team swimmers with the competition parameters of European elite swimmers, the competitive activity parameters of the finalists of the 2016 European Championships (in a 50 m pool) in 100-meter distances were analysed. The swims of all 64 finalists (32 men and 32 women) in the 100 m distance at the 2016 LEN European Aquatics Championships (in the long pool) held in London were analysed (eight finalists in each event: freestyle, backstroke, breaststroke and butterfly; men and women).

Official competition distance times (100 m competition result, 50 m swim time and start reactions) were obtained from the official competition website [www.london2016.microplustiming.com](http://www.london2016.microplustiming.com). The other competitive activity parameters were obtained by the kinematics method.

Both genders were faster in freestyle, followed by butterfly, backstroke and breaststroke. The biggest difference in results was found between freestyle and breaststroke for men and women (men:  $d = 11.71$  s; women:  $d = 13.02$  s). The smallest difference in results was observed between backstroke and butterfly, also for both genders (men:  $d = 2.35$  s, women:  $d = 2.15$  s.). Such results correspond to the speed distribution of different swimming styles described in scientific literature (Solovjova, 2017; Morais et al., 2018).

In the first 15 meters, the highest speeds were recorded for men in butterfly ( $5.71 \pm 0.14$  s) and for women in freestyle ( $6.68 \pm 0.28$  s). The lowest speeds were observed in breaststroke for both women and men (men:  $6.78 \pm 0.25$  s; women:  $7.81 \pm 0.27$  s). Swimming speed of the first 15 m in m/s for men in butterfly ( $2.63 \pm 0.7$ ) and women ( $2.25 \pm 0.09$ ) in freestyle, the slowest for men in breaststroke ( $2.21 \pm 0.8$ ) and women in breaststroke ( $1.92 \pm 0.07$ ).

Higher speeds for men and women were found in turns (5 m before the turn and 15 m after it) in freestyle swimming (men:  $9.56 \pm 0.13$  s, women:  $10.78 \pm 0.28$  s), the slowest –  $7.77 \pm 1.85$  s for men and  $6.62 \pm 0.76$  s for women in freestyle.

By combining the first 15 meters and the time of the turn, it can be established that better results were achieved by freestyle swimmers (men:  $15.40 \pm 0.20$  s; women:  $17.45 \pm 0.54$  s). Athletes spent ~33% of the distance time in the combined start and turn stage - this applies to all four swimming styles. The research results prove the great influence of the start and turning section on the competition results.

The distances that the athletes spent underwater after the start are shown in Table 16. Higher indicators were found in the final swim of the 2016 European Championships:  $13.02 \pm 1.01$  m in breaststroke for men and  $12.85 \pm 1.24$  m in backstroke for women. The shortest underwater sections – in the freestyle in both women ( $11.43 \pm 1.17$  m) and men ( $10.74 \pm 1.05$  m) competition.

After the turn, both men ( $11.02 \pm 1.31$  m) and women ( $10.61 \pm 2.05$  m) achieve the best results in backstroke, while the shortest underwater sections are in freestyle:  $7.76 \pm 1.88$  m for men and  $6.61 \pm 0.77$  m for women.

For further data comparison and statistical analysis, data on breaststroke were removed from the overall competition parameters. In this swim style, underwater undulatory swimming is not performed, therefore the use of this data in the research is not possible.

Mathematical statistics were used to compare the parameters of the competitive activities. The null hypothesis was accepted, indicating that there are no statistically reliable differences between the results.

The obtained results confirmed the assumption that the first 15 meters after the start are the fastest in the distance, and this applies to all swimming styles in both men's and women's competitions. These facts correspond to the data described in scientific literature (Mytton, Archer, St Clair, Thompson, 2014; Veiga, Navarro, Gonzales-Frutos, 2014).

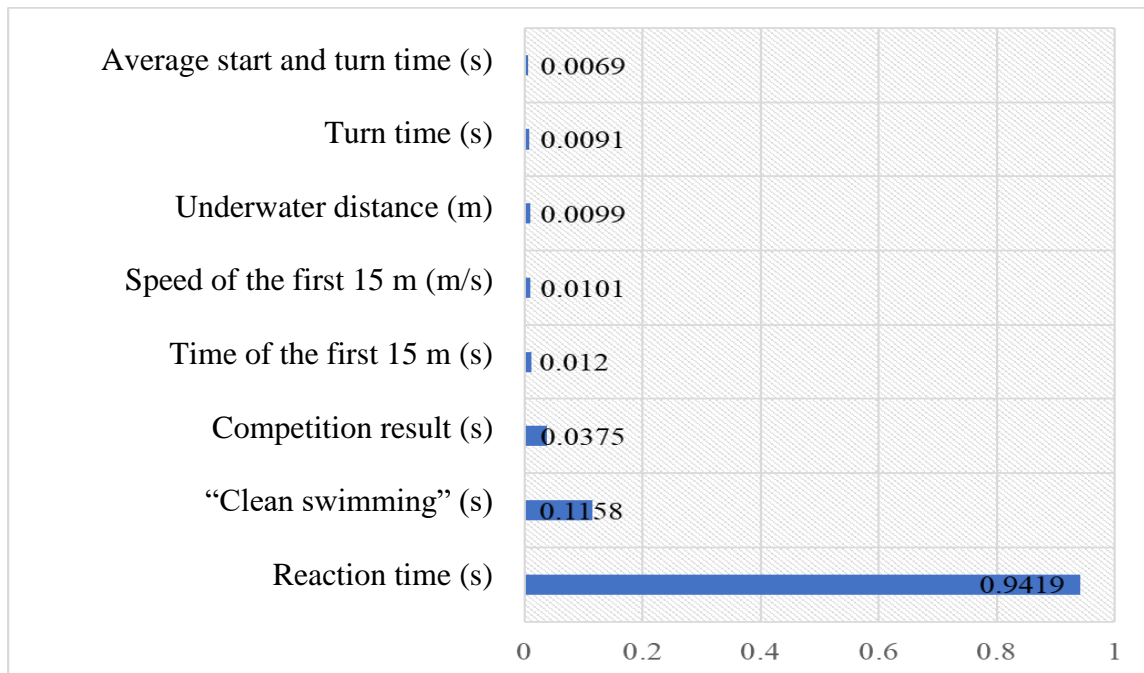


Figure 3. **Comparative Analysis of EC and LC Results (\* p < 0.05)**

Comparing the competition results, it was found that, except for the average reaction time to the start signal (for European elite swimmers  $0.68 \pm 0.03$  s and for the best Latvian swimmers  $0.69 \pm 0.03$  s; T test 0.9419) and the average speed of the "clean swimming" sections, the speed of European elite swimmers is  $1.68 \pm 0.18$  m/s, while the speed of the best Latvian swimmers is  $1.57 \pm 0.16$  m/s (T test 0.1158), and no statistically reliable difference was found. In all other parameters of the competition distance (swimming speed of the first 15 m, i.e.,  $2.08 \pm 0.21$  m/s for the fastest Latvian swimmers and  $2.27 \pm 0.24$  m/s for European Championship finalists (T test 0.1001), swimming speed of the turn stage, i.e.,  $12.43 \pm 1.41$  s for the fastest Latvian swimmers and  $11.26 \pm 1.19$  s for European Championship finalists (T test 0.1001), as well as the final result, i.e.,  $61.15 \pm 6.47$  s for the fastest Latvian swimmers and  $56.85 \pm 5.7$  s for European Championship finalists (T test 0.0375)), Latvian athletes lose to European elite swimmers and statistically reliable differences have been found between the competition results.

In the second sub-chapter **“Comparative Analysis of the Kinematic Characteristics of the Underwater Undulatory Swimming of Latvian Adult (18+) and Junior (Aged 16-17) Swimmers and Compilation of Recommendations for Swimming Coaches for Improving the Underwater Undulatory Swimming Technique of Swimmers in a 100-M Distance”**, a study of the kinematic characteristics of underwater undulatory swimming of adult (aged 18+) and junior (aged 16-17) Latvian swimmers was carried out, the obtained results were compared, and recommendations for the acquisition of an effective underwater undulatory swimming technique were developed for swimming coaches and young swimmers. The video materials were processed with special equipment and the average results (arithmetic mean, standard deviation) were entered into tables.

It was concluded that the average swimming speed of adult swimmers achieved with underwater undulatory swimming is  $2.20 \pm 0.09$  m/s, the average number of kicks is  $10.63 \pm 1.06$  movements, the frequency of movements is  $148.33 \pm 9.01$  kicks/m, the amplitude of the foot is  $0.77 \pm 0.03$  m, the amplitude of the knees is  $0.22 \pm 5.8$  m, the distance of movement during one downward kick is  $0.78 \pm 0.074$  m. Eight swimmers were tested - two Masters of Sports of international class and six Masters of Sports.

In the junior group, 12 swimmers were analysed - nine candidate Masters of Sports and three athletes of the first sports class. The obtained average results: the average speed of swimming achieved with underwater undulatory swimming is  $1.82 \pm 0.09$  m/s, the number of kicks is  $7.83 \pm 1.70$ , the frequency of movements is  $126.25 \pm 9.85$  kicks/m, the amplitude of the foot is  $0.71 \pm 0.02$  m, the amplitude of the knees is  $0.26 \pm 0.03$  m, the distance of movement during one downward kick is  $0.71 \pm 0.02$  m.

The obtained data show that there are statistically reliable differences between the parameters of adult (18+) and junior swimmers in terms of underwater swimming speed, frequency of movements, amplitude of foot and knee movements, distance covered with one underwater undulatory swim motion, as well as the number of movements.

Compared to the data mentioned in scientific literature, the following deficiencies were observed in underwater undulatory swimming of swimmers aged 16-17:

1. The start of underwater undulatory swimming immediately after submersion in the water, thereby losing the speed achieved after the start or push-off from the pool wall.
2. Excessive arm movements up and down, head positioned under the arms.
3. Great depth of submersion, so underwater undulatory swimming occurs upwards.
4. Lack of rhythmicity, thus the frequency of underwater undulatory swimming varies from 100 to 170 kicks/m.
5. Inappropriate number of underwater undulatory swimming movements - up to 8.

Based on the knowledge of specialists (Макаренко, 1983, Videler, Kamermans, 1985, Хальянд, 1986; Lytle et al., 1998; Vennell et al., 2006; Voroncovs, Rumjancevs, 2000; Литвинов, Фоменко, 2005; Hochstein, 2013, Solovjova, 2017) and the results of individual tests, recommendations for acquiring an effective underwater undulatory swimming technique for swimming coaches and new swimmers have been compiled:

1. The angle of submersion of the body in the water is in the range of 28 to 32 degrees.
2. A hydrodynamic body position must be maintained throughout the underwater section, impact angle – 3-5 degrees.
3. Underwater undulatory swimming should be initiated no sooner than one second after full body submersion in the water after the start or push-off from the pool wall.
4. Avoid moving arms up and down when your head is wedged between them.
5. Underwater undulatory swimming is most effectively performed at a depth of 0.8-1 m.
6. The rhythmicity and frequency of underwater undulatory swimming –  $140 \pm 10$  kicks/min.
7. The number of underwater undulatory swimming movements - in the range of 8 to 10.
8. In training sessions, the number of underwater undulatory swimming movements and the distance spent underwater should be gradually increased.
9. A gradual increase in the number of underwater undulatory swimming movements and the distance covered underwater during training sessions.
10. Exercises for abdominal, torso, back and leg muscles.
11. Stretching and correct posture exercises.

In order to acquire an effective technique of underwater undulatory swimming, these recommendations should be used in every training session, starting from the 2<sup>nd</sup> – 3<sup>rd</sup> study year. It is much easier to teach the basics of the technique at the very beginning. There is a belief that due to fatigue, the stabilizing muscles are unable to fully perform the stabilizing function of the body and ensure (maintain) the desired posture during the performance of the relevant exercise. Therefore, it is important to gradually dose the load depending on the student's age and skill. The coach needs to explain to the student the basics of correct underwater undulatory swimming technique, provide knowledge and promote understanding of the need to use it. Careful implementation of the recommendations will ensure both sufficient mechanical load on the muscles, promoting muscle development, and the acquisition of the

desired swimming technique. At the end of the training session, swimmers should perform body and leg muscle stretching exercises and exercises that promote correct posture.

In the third sub-chapter “**3.3. Analysis of Respiratory System Parameters of Latvian Swimmers and Their Correlations with Competition Results**”, the main tasks were to create an idea of the level of development of the respiratory system of Latvian swimmers, to perform a comparative analysis of the respiratory system parameters of adults and 16-17 years-old swimmers, to determine the correlations between the respiratory system parameters of adult and young swimmers and competition results, as well as to develop an exercise complex for respiratory muscle development and breathing retention training.

A total of 44 swimmers of different ages and qualifications took part in the testing. The average indicators of the respiratory system of the group of 44 swimmers were assessed using the spirometry method. Table 1 depicts the average results obtained.

Table 1

**Average Indicators of the Respiratory System (n = 44)**

Gender	Age group	FVC	FEV1	FIV1	PEF	PIF
Men	Juniors	6.17±0.55	5.49±0.47	4.81±1.47	9.67±1.36	7.6±1.50
	Adults	6.57±0.78	5.67±0.53	5.37±1.63	10.24±1.02	9.5±1.67
	Average	6.37±0.70	5.58±0.12	5.09±0.39	9.95±0.40	8.55±1.34
Measuring units		l	l	l	l/s	l/s
Women	Juniors	4.38±0.63	3.91±0.57	3.08±1.03	7.26±1.26	5.64±1.53
	Adults	5.34±0.89	4.67±0.55	4.55±0.94	7.88±0.55	6.59±0.73
	Average	4.86±0.67	4.29±0.53	3.81±1.03	7.57±0.43	6.15±0.67

During the analysis, it was found that swimmers' FVC exceeds the calculated values in 90.91% of cases (for 41 swimmers), in 4.55% of cases they are smaller than the expected values (2 swimmers), and in 2.27% of cases they correspond to the calculated norm (1 swimmer). For men, the highest indicator was found to be 7.81 litres; average 6.37±0.70 litres; while for women, the highest indicator is 6.08 litres, and the average is 5.34±0.89 litres. The obtained results correspond to the FVC indicators of swimmers published in scientific literature (Солопов, 1998; Булгакова, 2001; Colantonio et al, 2008; Григонене, Скирене, 2006; Зуозене, Скирене, Кавалаяускас, Григонене, Печюнас, 2007; Bougault et al., 2009; Диверт, Кривощеков, 2013; Кривощеков, Диверт, Мельников, Водяницкий, Гиренко, 2013; Priya, 2014; McCabe, Sanders, Psycharakis, 2015; Нарскин et al., 2016).

For the entire research group, statistically reliable differences were found between the obtained results and the calculated values - the norm was calculated, taking into account the person's race, height, weight, age and gender.

The average FVC found for 16-17 years-old juniors is 6.17±0.55 litres, compared to the calculated 5.18±0.27 l - the result is larger by 0.99 l; the average detected FEV1 is 5.49±0.47 l/s, i.e., 1.16 l/s higher than the expected 4.34±0.47 l/s. The determined PEF is 9.67±1.36 l/s, i.e., 1.39 l/s higher than the expected 8.28±0.28 l/s. The obtained results show the found statistically reliable differences in all parameters under discussion.

The average FVC found for 16-17 years-old swimmers is 4.38±0.63 litres, which is 0.37 l higher than the calculated 4.01±0.45 l; the detected average FEV1 is 3.91±0.77 l/s, i.e., 0.49 l/s higher than the expected 3.42±0.38 l/s. The detected PEF 7.26±1.26 l/s is 1.32 l/s higher than the expected 5.94±0.47 l/s. The obtained results show that the T test score is less than 0.05 in



the statistically reliable differences between FEV1 and PEF. No statistically significant differences were found between the observed and predicted FVC parameters.

The average FVC found in adult men is  $6.57 \pm 0.78$  l, which is 0.87 l higher than the calculated  $5.70 \pm 0.44$  l; the detected average FEV1 is  $5.48 \pm 0.71$  l/s, i.e., 0.78 l/s higher than the expected  $4.70 \pm 0.40$  l/s. The detected PEF of  $10.27 \pm 0.95$  l/s is 0.15 l/s lower than the expected  $10.42 \pm 0.56$  l/s. The obtained results indicate the statistically reliable differences found in FVC and FEV1 parameters. No statistically reliable differences were found in the expiratory flow and the detected result is lower than expected.

The average FVC found in the group of adult women is  $5.34 \pm 0.89$  litres, which is 1.19 l higher than the calculated  $4.15 \pm 0.32$  l; the detected average FEV1 is  $4.67 \pm 0.55$  l/s, i.e., 1.03 l/s higher than the expected  $3.64 \pm 0.28$  l/s. The determined PEF indicator of  $7.88 \pm 0.55$  l/s is 0.18 l/s less than the expected  $7.7 \pm 0.04$  l/s. The obtained results indicate the statistically reliable differences found between the FVC and FEV1 indicators. No statistically significant differences were found in the expiratory flow.

Continuing to solve the research tasks, a comparative analysis of the parameters of the respiratory system of adult men and 16-17 years-old swimmers was performed.

The determined average FVC indicator in the adult male group is  $6.57 \pm 0.78$  litres, which is 0.40 l higher than the result of 16-17 years-old swimmers -  $6.17 \pm 0.55$  l; the detected average FEV1 is  $5.48 \pm 0.71$  l/s, i.e., 0.01 l/s lower than the  $5.49 \pm 0.47$  l/s found in the group of 16-17 years-old athletes. The detected PEF is  $10.27 \pm 0.95$  l/s, which is 0.60 l/s higher than the  $9.67 \pm 1.36$  l/s found in the group of 16-17 years-old swimmers. No statistically significant differences were found between the results. The peak inspiratory flow or PIF indicator for adult men is  $9.63 \pm 1.58$  l/s, which is 1.57 l/s higher than the junior group's result of  $7.16 \pm 0.15$  l/s, and statistically reliable differences are found in this parameter.

The average FVC indicator found in the group of adult women is  $5.34 \pm 0.89$  litres, which is 1.33 l higher than the result of 16-17 years-old swimmers of  $4.01 \pm 0.45$  l; the established average FEV1 is  $4.67 \pm 0.55$  l/s, which is 1.25 l/s higher than the  $3.42 \pm 0.38$  l/s found in the group of 16-17 years-old girls. The detected PEF is  $7.88 \pm 0.55$  l/s, which is 1.94 l/s lower than  $5.94 \pm 0.47$  l/s in the group of 16-17 years-old girls. Statistically reliable differences have been found between the results. The peak inspiratory flow or PIF indicator for adult women is  $6.59 \pm 0.73$  l/s, which is 0.95 l/s higher than the junior group's result of  $5.64 \pm 1.53$  l/s, and no statistically reliable differences are found between these indicators.

Interesting data was obtained by comparing the speed of peak expiratory and inspiratory flow. In special studies, it has been established that, in connection with the specifics of the sport, the peak inspiratory flow of swimmers is mostly higher than the expiratory flow, but the results of Latvian swimmers did not confirm this. The average peak expiratory flow (PEF) of Latvian swimmers in the male group is  $10.27 \pm 0.95$  l/s, in the female group - 7.88 l/s, which is much higher compared to the peak inspiratory flow (PIF) for men (8.45 l/s) and women (5.94 l/s). This is one of the reasons why Latvian swimmers do not use the underwater section effectively.

Continuing to solve the research tasks, a comparative analysis of the competition results (FINA points) of adult men and 16-17 years-old swimmers was performed.

Analysing the obtained data, it can be concluded that on average higher results in FINA points were achieved by the male group -  $628 \pm 70.6$ . Compared to the arithmetic mean result of women -  $592 \pm 61.9$  points, the difference is 6.08%, and there is no statistically reliable difference between these indicators ( $p = 0.1115$ ). In the junior group, the results of boys ( $588.43 \pm 61.35$ ) and the results of girls ( $574 \pm 59.09$ ) differ by 2.44%, and there is no statistically reliable difference between them either ( $p = 0.5589$ ). Statistically reliable differences appear only between the average results of adult men ( $674.17 \pm 55.01$ ) and 16-17 years-old juniors ( $588.43 \pm 61.35$ ): difference in percentage - 14.63% ( $p = 0.0011$ ).

Correlation analysis was performed with the aim of determining the correlations between adult and young swimmers' respiratory system parameters and competition results. The following parameters were selected for correlation analysis:

- 7) FVC – forced vital capacity (here measured in forced expiration). It is the total amount of air that a person can forcefully (quickly and deeply) exhale after taking a deep breath;
- 8) FEV1 – forced expiratory volume in the first second, i.e., how much air can be exhaled in the first second of expiration;
- 9) PEF – peak expiratory flow;
- 10) FIV1 – forced inspiratory volume in the first second, i.e., how much air can be inhaled in one second;
- 11) PIF – peak inspiratory flow;
- 12) competition result according to FINA points.

Correlation matrix and Pearson's correlation coefficient were used to determine the correlations between two different samples.

Table 2

### Correlation Analysis of Respiratory System Parameters and Competition Results

FVC	FEV1	FIV1	PEF	PIF	* $p \leq 0.05$
0.39	0.09	0.48	0.05	0.63*	Men
0.19	0.02	0.55*	-0.25	0.22	Aged 16-17
0.08	-0.1	0.38	0.12	0.75*	18+
0.22	0.12	0.33	-0.15	0.12	Women
-0.28	-0.38	-0.02	-0.59*	-0.01	Aged 16-17
0.17	0.05	0.1	0.42	-0.22	18+
0.36	0.24	0.50	0.15	0.53	In total

Overall, the correlation coefficients for the researched group vary: competition result (FINA points) with forced vital capacity FVC ( $r = 0.360$ ), FEV1 ( $r = 0.240$ ), PEF ( $r = 0.150$ ) and FIV1 ( $r = 0.50^*$ ) and PIF ( $r = 0.53^*$ ). The values of the correlation coefficients range between moderate and weak.

In the men's group, the closest statistically reliable correlation was found between the competition result and the peak inspiratory flow ( $r = 0.630^*$ ), while the correlation between the forced inspiratory volume in one second ( $r = 0.480$ ) and the forced vital capacity ( $r = 0.390$ ) is moderate, but not statistically reliable. A weak correlation was found with the forced expiratory volume in one second ( $r = 0.008$ ) and the peak expiratory flow ( $r = 0.05$ ).

In adult men, higher correlation coefficients were found between the competition result (FINA points) and PIF ( $r = 0.75^*$ ), FIV1 ( $r = 0.38$ ) (see Appendix 25).

In the junior group, the most closely correlated with the competition result (FINA points) was the FIV1 parameter – the forced inspiratory volume in one second ( $r = 0.55^*$ ) (see Appendix 26).

In the women's group, correlation coefficients were obtained between the competition result (FINA points) and the forced inspiratory volume in one second ( $r = 0.33$ ), the forced vital capacity ( $r = 0.220$ ).

In adult women: PEF ( $r = 0.42$ ), PIF ( $r = -0.22$ ), FVC ( $r = 0.17$ ), FIV1 ( $r = 0.1$ ) and FEV1 ( $r = 0.05$ ) (see Appendix 27). In the junior group: PEF ( $r = -0.59^*$ ), FEV1 ( $r = -0.38$ ), FVC ( $r = -0.28$ ), FIV1 ( $r = -0.02$ ) and PIF ( $r = -0.01$ ) (see Appendix 28).

Main conclusions: A closer correlation is found between the peak inspiratory flow ( $r = 0.75^*$ ) in adult men and the forced inspiratory volume in one second ( $r = 0.55^*$ ) in the male junior group. The values of the correlation coefficients range between high and moderate.

In the fourth sub-chapter “**3.4. Modification of the Exercise Complex for Developing the Respiratory System Parameters and Analysis of the Impact of Its Implementation on Competition Results**”, the main tasks were as follows: based on the individual results of the respiratory system assessment of young swimmers and the recommendations found and correlations described in scientific literature, to modify the exercise complex for developing respiratory system parameters. The following were considered in its development:

1. Peculiarities of competitive swimming;
2. Modern trends in swimming competitions;
3. Individual peculiarities of an athlete's swimming system.

The exercise complex for developing respiratory muscles and training breath retention uses exercises that develop respiratory muscles, improve breath retention, and special swimming exercises. The complex consists of three parts - two on land (breathing muscle development exercises and breath retention exercises) and one in water (special breath retention exercises for swimmers). The complex consists of 9 exercises and 3 practices. 4 exercises are designed to develop breathing muscles and expand the chest. 4 exercises on land and 4 practices in water are designed to improve breath retention. Eight breathing exercises on land will help create a breathing rhythm, prevent shallow breathing, promote chest expansion, increase lung volume, and increase the strength of inspiratory muscles.

Respiratory muscle development exercises and breath retention exercises should be performed three times a week before swimming training. Execution time - up to 20 minutes in the first week, which gradually increases to 30 minutes by the fourth week.

Special practices for improving breath retention for swimmers in water are included in the swimming training programme, they must be performed three times a week, gradually reducing the number of inhalations during the distance and increasing the time of breath retention. It is recommended to include the first three practices at the end of the warm-up part or at the beginning of the main part. Recommended inclusion schedule: Monday - first practice, Wednesday - second, Friday - third. The fourth exercise is intended for the final part, it is recommended to include it in the training programme 3 times a week: on Tuesdays, Thursdays and Saturdays. Special practices for improving breath retention in water solve the following tasks: creating a breathing rhythm in water, preventing shallow breathing, increasing the strength of inspiratory muscles, building the adaptation process to hypoxia.

“**3.4.1. Modification and Approbation of an Exercise Complex for Developing the Respiratory System Parameters in Swimmers**”. To test the hypothesis - if a modified complex of exercises developing the respiratory system parameters is applied in the special physical training of swimmers, the efficiency of covering the underwater section will improve, which in turn will improve the time of completing a distance in swimming competitions - a pedagogical experiment was conducted.

In the first trial session in April 2022, the respiratory system of 16-17 years-old Latvian swimmers was tested.

A total of 33 young (aged 16-17), well-trained (train at least 14 hours per week) local Latvian swimmers from various swimming clubs and sports schools took part in the experiment. All swimmers have sports experience of  $\pm 8$  years, and mostly specialize in short and middle distances (50-400m) and train a total of 45-48 weeks per year in the pool and at the gym, training is usually  $20.0 \pm 2.0$  hours per week. Three parameters were selected from several indicators of the respiratory system: FVC - forced vital capacity, PIF - peak inspiratory flow, PEF - peak expiratory flow. Forced vital capacity was chosen to demonstrate group homogeneity. There is

evidence in scientific literature that PIF and PEF indicators reflect the size and force of the central airways directly generated by the inspiratory and expiratory muscles.

A control group was created from eighteen swimmers ( $16.5 \pm 2.0$  years,  $180.03 \pm 6.1$  cm,  $70.82 \pm 7.36$  kg, average result –  $495.61 \pm 79.94$  FINA points, 7 female juniors and 11 male juniors). These swimmers performed only the training sessions without the breathing exercise complex.

The experimental group was formed from fifteen swimmers ( $16.5 \pm 2.0$  years,  $176.37 \pm 5.98$  cm,  $66.03 \pm 9.35$  kg, average result –  $482.47 \pm 46.55$  FINA points, 7 female juniors and 8 male juniors). These swimmers performed their training sessions, as well as the proposed exercise complex for developing the respiratory system parameters.

The homogeneity of both groups is proven by the method of mathematical statistics.

The average PIF indicator in the experimental group is  $6.38 \pm 0.25$  l/s, in the control group –  $7.30 \pm 1.40$  l/s (T test – 0.1497). The average PEF indicator in the experimental group is  $8.39 \pm 1.70$  l/s, in the control group –  $8.38 \pm 1.82$  l/s (T test – 0.9932). In terms of competition results in FINA points, the average result in the experimental group is  $482.47 \pm 46.55$ , in the control group –  $495.61 \pm 79.94$  (T test – 0.5784). Average results of anthropometry: average height in the experimental group –  $176.37 \pm 5.98$  cm, in the control group –  $180.03 \pm 6.1$  cm (T test – 0.0934); average weight in the experimental group –  $66.03 \pm 9.35$  kg, in the control group –  $70.82 \pm 7.36$  kg (T test – 0.1098). The average FVC result in the experimental group –  $4.7 \pm 0.78$  l/s, in the control group –  $5.21 \pm 0.76$  cm (T test – 0.0660); although the two indicators differ, the difference is not statistically reliable.

The obtained results prove the homogeneity of the group, and the hypothesis that there is no statistically reliable difference between the groups was confirmed. The T test values range from 0.0577 to 0.9932 points.

In the second trial session, after the experimental period, the anthropometric variables, FVC, PIF, PEF and the swimming result in a 100 m distance in FINA points were again determined for both groups.

The 73<sup>rd</sup> Latvian U-19 Championship on April 8 and 9, 2022, in Jelgava was chosen for repeated fixation of competition results, as all participants of the experiment took part in it.

The obtained data prove the positive effect of the complex of breathing exercises on the development of the musculature of the respiratory system. In the experimental group, the FVC indicator was  $4.83 \pm 0.85$  l – an increase of 4.55%; the PEF indicator was  $8.57 \pm 2.12$  l – an increase of 2.12%, but the changes that occurred are not statistically reliable. On the other hand, the peak inspiratory flow force indicator PIF increased by an average of 27.12%, and these changes are statistically reliable (T test – 0.0395). In some cases, a growth from 3.82 l/s to 9.8 l/s was observed, and the increase reached 156.54% of the initial size. The average growth of the competition result in the group was  $6.73 \pm 3\%$ . However, the changes are not statistically reliable (T test – 0.0577) but are very close to 5%. The highest growth was found for athlete S.K. – 13.65%, the lowest – 1.65% (athlete J. S.). The improvement of the competition result was facilitated by the effective execution of the distance section (the start and the turn section), which is associated with underwater undulatory swimming, and the changes are statistically reliable ( $p = 0.0472$ ).

Participants in the control group performed only the usual training tasks and did not perform any breathing exercises. In the control group, the FVC indicator reached  $5.22 \pm 0.87$  l – an increase of 0.38%; the PEF indicator reached  $8.44 \pm 1.55$  l – an increase of 0.72%; the peak inspiratory flow force index PIF increased by an average of 0.82% –  $7.36 \pm 1.55$  l. Nonetheless, the observed changes are not statistically reliable. The dynamics of competition results in the control group is from 3.31 to 1.68%. A 0.14% increase in the average competition result was found (T test – 0.9799); in turn, changes of the distance sections, which are related to

underwater undulatory swimming – 0.09%. However, there were no statistically reliable changes.

#### **4. DISCUSSION**

##### ***Discussion on the parameters of the finalists of the Latvian swimming championships and their comparison with the parameters of the finalists of the 2016 European Championships***

By reading specialized literature and studying competitive activities, it can be concluded that the parameters of competitive swimming have been carefully studied all over the world in order to find the causes of high competition results. Specialists from neighbouring countries also pay a lot of attention to it: in Estonia - Professor of kinesiology Rein Haljand, in Lithuania - PhD Valentina Skyriene. Unfortunately, an in-depth analysis of competitive activities in Latvia was carried out for the first time only in 2017, summarizing the results of three Latvian Open Summer Championship finals. The choice of the competitions to be studied is not accidental - for every Latvian swimmer, the Latvian Open Summer Championships is the biggest and most important competition of the season, as one can meet the selection standards for the next European or world championship within the Latvian championship.

The obtained results confirmed the assumption that the fastest section of a distance is the first 15 meters after the start; this applies to all swimming styles in both men's and women's competition. The assumption refers to the results of the best swimmers in Latvia and Europe, regardless of the swimming style, competition distance, swimmer's age, level of training, as well as gender. This has been proven both in world and European studies, as well as published in scientific literature (Thompson, Haljand, Cooper, Palfrey, 2000; Mason, Cossor, 2001; Veiga, Cala, Mallo, Navarro, 2013; Morais, Marinho, Arellano, Barbosa, 2018), and is also proven in our research.

The obtained results have revealed reserves in swimming the underwater section. The rules of the International Swimming Federation (FINA SW 5.3) stipulate that after the start and each turn, the athlete is allowed to swim 15 meters underwater, performing underwater undulatory swimming. Thus, in the Olympic pool, one can swim a maximum of 30 meters underwater in a distance of 100 m. European elite swimmers and Latvia's best athletes swim on average  $21.13 \pm 2.38$  m, i.e., 70.43% of the permitted distance, and  $17.66 \pm 2.84$  m, i.e., 58.87% of the permitted distance, respectively. In both cases, there is a reserve for further growth of the competition result.

The limitation of our research is the limited number of subjects ( $n = 40$ ). Nonetheless, 262 video recordings of three competitions were analysed with the aim of determining the swimming parameters of a competition distance, and the analysis was carried out in a 100 m distance in four types of swimming, and mostly a narrow circle of participants was studied. The same athletes have been repeatedly selected for the final swims in three years.

##### ***Discussion on developing the underwater undulatory swimming technique for swimmers of different qualifications and ages***

One of the tasks of the research was to find the reasons why the underwater section is not used effectively, as well as to conduct an in-depth theoretical study of the mechanics and biomechanics of the underwater undulatory swimming technique.

The results of the study agree with evidence published in the scientific literature (Wadzyk, Nosiadek, Staszkiwicz, 2017) that young swimmers, compared to adults, are characterized by a lower swimming speed when performing underwater undulatory swimming. The investigated element of swimming technique in young swimmers was characterized by low

movement amplitude and frequency, high knee joint flexion and high Strouhal number. Young swimmers should pay attention to the rhythm of underwater undulatory swimming, which is characterized by high amplitude and frequency values. It should also be emphasized that the range of motion should not be increased by bending the knees more.

As it is well-known, a person demonstrates higher sports results when he/she reaches his/her physiological and psychological maturity, which depends on the person's age. For example, representatives of the European race achieve better sports results in swimming at the age of 20-25. Therefore, it is very important to teach the correct swimming technique and accuracy of movements, and to gradually improve it at the very beginning of the sports career. The stereotype of movements is formed as the child grows.

### ***Discussion on the development of the respiratory system of swimmers of different ages and qualifications***

One of the most important elements affecting the overall sports result is physical fitness, which helps to maintain the body's internal balance during exercise. Under much more intense load conditions, i.e., during training, aerobic efficiency is the most important factor. Aerobic efficiency is the ability to perform prolonged aerobic activity and resist fatigue, whilst working large muscle groups (Górski, 2006).

The amount of air contained in the lungs is also very important and decisive, because air is significantly lighter than water. This allows us to conclude that the large volume of vital capacity of swimmers' lungs has a positive effect on their ability to swim and on the entire body as a whole.

It has been established that the FVC (forced vital capacity) of swimmers from the Baltic states exceeds the calculated values in 90.1% of cases (40), while in 4.55% of cases it is less than the intended values (2), and in 2.27% of cases they match (1 case). Higher indicators were found in men (the highest 7.81 l, the average  $6.57 \pm 0.78$  l) than in women (the highest 6.08 l, the average  $5.34 \pm 0.89$  l).

The third part of the study was devoted to the study of the respiratory system of Latvian swimmers. High-quality and professional data collection was ensured with the help of Dr. med. Maija Rumaka, Professor of Rīga Stradiņš University.

The results of special studies show that in swimmers, due to their peculiar breathing, the volume of the inspiratory flow is greater than the volume of the expiratory flow (Солопов, 1988; Verges, et al., 2009; Диверт, Кривошеков, 2013; Кривошеков, и др., 2013; Priya, 2014; McCabe, et al., 2015; Нарскин, и др., 2016).

By studying the respiratory system of Latvian swimmers, it was found that the volume of the expiratory flow in both the male group (PEF = 9.97 l/m) and the female group (PEF = 7.46 l/m) is greater than the inspiratory flow (in the male group - PIF = 8.45 l/m; in the female group - PIF = 5.94 l/m). The obtained results contradict the data published in specialized literature and fully explain why Latvian swimmers have difficulty with effectively covering the underwater section of a distance.

One of the shortcomings of the paper is that it was not possible to obtain information about the parameters of the external respiratory system of elite swimmers. It is safe to say that the correlation coefficients for the European Championship finalists are probably higher, but no scientific studies have been found to prove this.

***Discussion on the effects of a modified complex of respiratory system's parameters developing exercises on a swimmer's respiratory system and competition results***

Analysing the available literature sources, it was found that several authors paid attention to improving the functions of the respiratory system in sports and its influence on competition results (Clanton et al., 1987; Boutellier et al., 1992; Boutellier un Piwko, 1992; Markov et al., 2001; Stuessi et al., 2001; Sonetti et al., 2001; Wells et al., 2005; Leddy et al., 2007; Mickleborough et al., 2008; Kildings et al., 2010; Lemaitre et al., 2013; Karsten et al., 2018).

The differences between the results obtained in our research and those published in literature can be partly explained by methodological differences. Some studies either do not include a control group (Boutellier et al., 1992; Boutellier and Piwko, 1992), or use a control group that participated in fictitious training sessions (Wells et al., 2005; Mickleborough et al., 2008; Kilding et al., 2010). Differences in results between studies by different authors are probably related to the specific simultaneous training of inspiratory and expiratory muscles, which more accurately simulated breathing restrictions during swimming and could promote chest expansion (inspiratory muscles) and contraction (expiratory muscles), as well as the fact that the participants in our research are younger ( $16.5 \pm 2.4$  years). The research by Wells et al. (2005) on swimmers of similar age with an inspiratory and expiratory muscle training programme produced changes that are consistent with the FVC data obtained in our research but not FEV1, although their training period was longer (12 rather than 4 weeks). We believe that these discrepancies could be due to the different design of the research. Previous research involved elite and adult swimmers (Clanton et al., 1987; Mickleborough et al., 2008), while the age and level of training of the persons involved in this research is lower than the persons involved in the research of other authors. The functional outcome of these conditions (i.e., less trained and younger) was that the swimmers in this study reached peak inspiration and expiration faster (Clanton et al., 1987).

In our research, respiratory muscle development and breath retention training was performed during a specific preparation period, while in other research, inspiratory muscle training (IMT) was performed during the competition phase (Mickleborough et al., 2008). For instance, the research by Kilding et al. (2010), which found a significant effect of inspiratory muscle training (IMT), was performed early in the training process. Research by Wells et al. (2005) and Karsten et al. (2018) did not provide information on the training period in which the study was conducted, however, the effect of the inspiratory and expiratory muscle training programme could be more significant at the beginning of the season, as it helps swimmers to better adapt the respiratory function to the swimming load. During competitive periods, better trained swimmers may not benefit from this effect. Therefore, the training period could be an important determinant that explains, at least in part, the differences in the observed results.

Studies in scientific literature show that respiratory muscle endurance training improves competition performance (between 1.8% and 4%) in both untrained and trained cyclists (Markov et al., 2001; Stuessy et al., 2001; McMahon et al., 2002; Kildings et al., 2010) and running (Leddy et al., 2007), although not systematically if it is associated with inspiratory muscle endurance training (Sonetti et al., 2001).

Although we did not measure respiratory parameters during swimming, this last aspect could be particularly important for elite swimmers, as they have to increase the amount of inhaled air during a limited time (0.2–0.3 s) when the face is above the water at the moment of inspiration, and thus it will also allow them to exhale more air while swimming. These results are one of the first in Latvia, which show that respiratory muscle development and breath retention exercises can improve both respiratory muscle strength and competition results in competitive swimming for 16-17 years-old swimmers (+27.12% and +2.15% for inspiratory

and expiratory muscle strength and +6.73% for the competition result in a 100 m distance, respectively). This finding is consistent with the data obtained by Kilding et al. (2010), Lemaitre et al. (2013) and Karsten et al. (2018), where combining swimming training with inspiratory muscle training increased the respiratory muscle strength of swimmers. Kilding et al. (2010) also noted that inspiratory muscle training has a positive effect on the competition results in swimming. Compared to the research by Wells et al. (2005) involving swimmers, improvements in competition results were found - 3% and 4% in the 50 m and 200 m swimming distance respectively, and were greater than the improvements observed in the 100 m and 200 m freestyle (by 1.7% and 1.5% compared to the control group) (Kilding et al., 2010) and were similar to improvements seen in runners (i.e., 4%) (Leddy et al., 2007). Wells et al. (2005) and Mickleborough et al. (2008) found that training sessions (TS) + respiratory and expiratory muscle training programme and TS + inspiratory muscle training (IMT) were as effective as TS + respiratory and expiratory muscle training programme and TS + expiratory-IMT. However, they reported improvements in several measures of lung function (FEV1 - forced expiratory volume in the first second and/or FIV1 - forced inspiratory volume in the first second) observed in the group that performed only the respiratory muscle endurance training (RMET). Kilding et al. (2010) found that inspiratory muscle training (IMT) did not alter lung function in swimmers, although their competitive performance improved. It has been proven that as the respiratory muscle strength increases, the forced vital capacity (FVC) and diaphragm thickness also increases and the physical endurance in healthy individuals improves (Sheel, 2002; Enright et al., 2006). The statistically reliable changes in inspiration flow found in our research can be explained by the fact that Latvian swimming coaches do not pay enough attention to the development of inspiratory muscle strength during training. In the research, combining respiratory strength and inspiration endurance training with usual swimming training resulted in an improvement in competition results (FINA points) - +6.73%; and P is 0.057, which is very close to the statistically reliable value of 0.05, while the frequency or pace of swimming movements and the number of strokes remained unchanged. The relatively small improvement in other parameters (FVC +4.55% (P - 0.501) and PEF (P - 0.801)) can be partly explained by the relatively short duration of the programme (i.e., four weeks, similar to the research by Boutellier et al. (1992) and Leddy et al. (2007)); in the studies of other authors, the duration of the experiment is from 5 weeks (Sonetti et al., 2001) to 15 weeks (Markov et al., 2001), but it is subordinated to the specificity of the swimming sport (the most common length of the training cycle during the competition period).

The research results show that the inclusion of an exercise complex for developing the respiratory muscle system and improving breath retention in the swimming training process contributes to the improvement of the swimmers' competition result in a 100 m distance. Thus, these factors in the training process have a significant impact on improving swimmers' athletic results. There is also reason to admit that in longer distances (for example, 200 m and 400 m), the duration of physical exercise and the proportion of aerobic processes in energy production increase. Therefore, an exercise complex for training breath retention and developing the respiratory muscle system being integrated in the training process can improve the sports results of swimmers not only in the 100-meter distance, but also in the 200-meter and longer distances. The exercise complex for developing respiratory muscles is recommended in the training process for 16-17 years-old swimmers, who specialize in 100-meter and longer distances.

## CONCLUSIONS

1. By conducting a theoretical study of the parameters forming swimmer competitive activity and the respiratory system parameters and their influence on the competition result in swimming, it was concluded that:



- *in a 100 m distance, the parameters forming the competitive activity are: reaction time to the start signal, the start section (the first 15 meters of the distance), the “clean” swimming section, the turn (5 m + 15 m) section, the finish section (5 meters).*

- *The competition result in 100-m distances, regardless of the type of swimming and the gender of the athletes, is significantly influenced by the speed of underwater swimming in the first 15 meters and the underwater undulatory swimming technique.*

- *The development level of the respiratory system parameters of swimmers is higher than the calculated norm according to the age, height and weight.*

- *In swimming, peak inspiratory flow (PIF) is of great importance – the maximum air flow speed that can be achieved during a forced (maximum rapid and deep) inhalation. The peak inspiratory flow depends on the strength of the inspiratory muscles, mainly the diaphragm.*

- *The ability to hold one’s breath after a quick inhalation and to effectively perform underwater undulatory swimming after the start jump and each turn throughout the distance is closely related to the special physical fitness of the swimmer, the peculiarities of the respiratory system and age; the time of performing the underwater undulatory swimming affects the competition result.*

2. The competitive activity parameters of the finalists of the Latvian Swimming Championships are statistically significantly different compared to the parameters of the finalists of the European Championships in 100 m distances. The finalists of the European Championships had higher results in: the speed of swimming the first 15 m ( $p = 0.01$ ); the speed of swimming the turn section ( $p < 0.001$ ); as well as in the final result of swimming the distance ( $p = 0.03$ ). On the other hand, the average reaction time to the start signal ( $p = 0.94$ ), and the average speed of swimming the “clean swimming” section do not differ statistically ( $p = 0.11$ ) and are equivalent.

3. Latvian adult swimmers (18+), compared to juniors, have different kinematics of underwater undulatory swimming: the obtained data show that there are statistically reliable differences ( $\alpha \leq 0.05$ ) between the parameters of adult (18+) and junior swimmers in the speed underwater (m/s), frequency of movements, range of feet and knees, distance travelled per movement, as well as the number of movements. By summarizing the findings of the scientific literature and the results obtained within the framework of the Doctoral Thesis, the following recommendations were developed for the improvement of underwater undulatory swimming:

- *$\pm 30$  degrees for body immersion angle;*
- *during the entire underwater section, the hydrodynamic body position must be maintained (the body angle at impact – 5-7 degrees);*
- *the start of the first underwater undulatory swimming movement should be no sooner than a second after full body submersion into the water;*
- *minimize up-down hand movements, the head should be in the sagittal plane in line with the hands;*
- *performance of underwater undulatory swimming at a depth of 0.8-1 m;*
- *frequency of underwater undulatory swimming –  $140 \pm 10$  kicks/minute;*
- *the number of underwater undulatory swimming movements – 8-10.*

4. In Latvian adult swimmers (18+) in both male and female groups, a predominance of the peak inspiratory flow (PIF parameter) was found compared to juniors, and statistically reliable differences were found between these indicators. The forced vital capacity of the lungs is higher in adults than in juniors, but statistically reliable differences were found only in females. After the analysis it was found that:

- for Latvian swimmers, the forced vital capacity (FVC) exceeds the calculated values in 90.1% of cases ( $n = 43$ ), and 4.55% are lower than the expected values ( $n = 43$ ), while 2.27% correspond to the expected norm ( $n = 43$ ).

- the average peak expiratory flow (PEF) of Latvian swimmers in the male group (9.95 l/m) and the female group (7.57 l/m) is higher than the peak inspiratory flow (PIF) in men (8.55 l/m) and women (6.15 l/m), which contradicts the information found in the scientific literature.

- There is a strong correlation ( $r=0.75$ ) in adult men between the competition result (FINA points) and the peak inspiratory flow.

5. An exercise complex for developing the respiratory system parameters was modified and approved in practice, consisting of exercises for developing respiratory muscle strength, expanding the chest and improving breath retention on land and in water (a total of 9 exercises and 3 practices). Probation time - 4 weeks, the exercise complex was performed 6 times a week.

- A statistically reliable effect of the exercise complex for developing the respiratory system parameters of swimmers, as a result of which the inspiratory flow of swimmers improved ( $p < 0.05$ ).

- The growth of the competition result has been achieved ( $p = 0.05$ ). The improvement of the competition result was facilitated by the effective performance of the distance section (the start and the turn section), which is related to underwater undulatory swimming (see Table 32).

In the implementation of the tasks set out in the Doctoral Thesis, and based on the obtained results, the aim of the paper was achieved – an exercise complex for developing the respiratory system parameters was modified, its impact on the efficiency of covering the underwater section and the competitive activity was assessed, recommendations for swimming coaches for improving the underwater undulatory swimming technique were developed, as well as theoretically substantiated recommendations were developed for improving the underwater undulatory swimming technique.

The hypothesis put forward in the research was confirmed: the application of an exercise complex for developing the respiratory parameters of swimmers in the special physical training of swimmers improves the inspiratory flow rate, resulting in the improvement of the efficiency of covering the underwater section, which in turn will improve the time of completing the distance in swimming competitions.

## **RECOMMENDATIONS FOR SWIMMING COACHES FOR DEVELOPING CORRECT UNDERWATER UNDULATORY SWIMMING TECHNIQUE**

Based on the results of the analysis of specialized literature and the assessment results of underwater undulatory swimming of young swimmers, recommendations were compiled for teaching and improving the correct technique of underwater undulatory swimming. The recommendations are prepared, taking into account the laws of hydrodynamics and biomechanics found in special literature, the parameters of high-level swimmers' movement technique analysis and based on the individual results of testing young swimmers. The recommendations include: laws of hydrodynamics, laws of biomechanics, individual characteristics of the athlete.

The following conditions should be observed after the start jump and after each turn:

1. *The angle of immersion of the body in the water should be in the range of 28 to 32 degrees.*
2. *A hydrodynamic body position should be maintained during the entire underwater section, impact angle – 3-5 degrees.*
3. *Underwater undulatory swimming should be started no sooner than a second after the body is fully immersed in the water after the start or after the push off from the pool wall.*
4. *Moving the hands up and down should be avoided when the head is pressed between them.*
5. *Underwater undulatory swimming is most effectively performed at a depth of 0.8-1 m.*
6. *Rhythmicity and frequency of underwater undulatory swimming – 140±10 kicks/min.*
7. *The number of underwater undulatory swimming movements should be within the range from 8 to 10.*
8. *The number of underwater undulatory swimming movements and the distance spent underwater should be gradually increased during the training sessions.*
9. *In the preparation process, it is necessary to apply the modified exercise complex for developing the respiratory system parameters in order to improve the efficiency of covering the underwater section and the result of the competitive activity.*

## **LIST OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS REFLECTING THE RESULTS OF THE DOCTORAL THESIS**

5) Jakubovskis, G., Zuša, A., Solovjova, J. (2022). Relationship between respiratory systems' parameters and result in swimming. LASE Journal of Sport Science. (Vol.13, No.2) (Vol.13, No.2) pp. 33-42.

[https://journal.lspa.lv/images//2022\\_1/2022\\_2/LASE\\_2022\\_jun\\_fin.pdf](https://journal.lspa.lv/images//2022_1/2022_2/LASE_2022_jun_fin.pdf)

6) Jakubovskis, G., Solovjova, J., Avotiņa, I. (2021). Анализ показателей соревновательной деятельности пловцов на 100 метровой дистанции, с целью поиска резервов улучшения спортивного результата. The 1. International scientific and practical conference. Katara, Doha. <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/issue/view/26-28.09.2021/92>

7) Jakubovskis, G., Solovjova, J. (2021). Сравнительный анализ показателей соревновательной деятельности пловцов на 100 метровой дистанции. IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием. Кривіја, Казапа. УДК 796.015.86 Пp. 576-580

[https://www.sportacadem.ru/files/NAUKA/files\\_nauka/sbornik\\_konferencii\\_18-19\\_fevralya-2021\\_kazan.pdf](https://www.sportacadem.ru/files/NAUKA/files_nauka/sbornik_konferencii_18-19_fevralya-2021_kazan.pdf)

8) Jakubovskis, G., Solovjova, J., Uptis, I., Dravniece, I. (2019). Indicators of External Respiration and the Effectiveness of Underwater Phase in Swimming. 5th international conference on lifelong education and leadership for all-icel. Azerbaijan state university of economics. Baku, Azerbaijan.

<https://www.researchgate.net/search.Search.html?query=Indicators+of+External+Respiration+and+the+Effectiveness+of+Underwater+Phase+in+Swimming&type=publication>

## PARTICIPATION WITH REPORTS IN INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCES

1. Jakubovskis, G., Solovjova, J., Zuša, A. (2022). *The analysis of competitive activity of the best Latvian swimmers at a 100m distance to compare the received results with the indexes of finalists of the European Championship 2016*. Science, Sport and Medicine XI (MVSF.TK.045). Tartu, Estonia.

2. Jakubovskis, G., Zuša, A., Solovjova, J. (2022). Relationship between respiratory systems' parameters and result in swimming. 15. Baltic Sports Science Conference. Kaunas, Lithuania.

3. Jakubovskis, G., Solovjova, J. (2022). Latvijas peldēšanas izlases sportistu vilkmes spēka ūdenī analīze. 14th International Scientific Conference. Riga, Latvia.

4. Jakubovskis, G., Solovjova, J. (2021). Сравнительный анализ показателей соревновательной деятельности пловцов на 100 метровой дистанции. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием “Проблемы и перспективы физического воспитания, спортивной тренировки и адаптивной физической культуры”. Россия, Казань.

5. Jakubovskis, G., Solovjova, J. (2019). *Augstākās klases peldētāju elpošanas tehnikas īpatnības ietekme uz sporta rezultātu un tās nozīmes izpēte*. The 11<sup>th</sup> International Scientific Conference of Doctoral and Master's Students of the Latvian Academy of Sport Education. Riga, Latvia.

6. Jakubovskis, G., Solovjova, J. (2017). *Elpošanas īpatnības sportā peldēšanā*. The 9<sup>th</sup> International Scientific Conference of Doctoral and Master's Students of the Latvian Academy of Sport Education. Riga, Latvia.

## SCIENTIFIC RESUME – CV

### Personal Data

Name, Surname: Germans Jakubovskis

E-mail: [germans.jakubovskis@lspa.lv](mailto:germans.jakubovskis@lspa.lv)

### Education

2016-2020: Latvian Academy of Sport Education, Academic Doctoral higher education programme “Sports Science” (51813).

1999: Latvian Academy of Sport Education, Master's degree in sports pedagogy.

1994-1998: Latvian Academy of Sport Education, Bachelor's degree in sports pedagogy, sports pedagogue speciality with swimming coach qualification. Additional qualification - masseur.

### Professional Work Experience

2018 – currently: Guest Lecturer at the Latvian Academy of Sports Education.

2021 – currently: Guest Researcher, Scientific Assistant at LASE.

2017 – currently: Head of the Sports Laboratory at the Swimming Federation of Latvia.

2009-2012 and 2016-2018: Chair of the Coach Committee at the Swimming Federation of Latvia.

2000-2010: Sports teacher at Riga Secondary School No. 51.

1997 – currently: Swimming coach and sports teacher at the Riga Secondary School No. 72.

**Scientific Research Activities**

EU ESF project No.8.2.2.0/20/I/004 “Support for involving Doctoral students in scientific research and studies”, 01.09.2021. – 31.08.2022.

Promocijas darba kopsavilkums

Latvijas Sporta pedagoģijas akadēmija  
Latviešu un angļu valodās  
Rīga – 2023

© Jakubovskis, 2023

Darbs tiek publicēts  
ar studiju prorektora prof. A.Fernātes atļauju, 2023.gada 11. aprīlī

Par izdevumu atbild Germans Jakubovskis

---

Parakstīts iespiešanai 2023. gada 11. aprīlī  
4,875 iesp. loksnes. Metiens 45 eks.  
Pasūtāmā. Pasūtījums Nr. 5  
Iespriests Latvijas Sporta pedagoģijas akadēmijā  
Brīvības gatvē 333, Rīga, LV-1006