روش غیر مستقیم بیومکانیکی اندازه‌گیری نیروی پیشبرنده شنا[1]

دکتر مرتضی شهبازی مقدم، کیومرث مهرور و بهرام پازوکی
دانشگاه تهران - دانشکده فیزیک
کمیسیون بیومکانیک کمیته ملی المپیک

فهرست:

مقدمه ۵۳
روش‌شناسی تحقیق ۵۴
مدل ریاضی ۵۴
تعیین ضریب مقاومت آب - C ۵۴
روش دینامومتری ۵۵
روش کار و انرژی ۵۵
بحث و نتیجه‌گیری ۵۵
منابع و مآخذ ۵۹

مقدمه

تخمین و اندازه‌گیری نیروی پیشبرنده شناگران در آب، یکی از مسائل مهمی است که اکثر کشورهای صاحب‌نام در بازیهای جهانی و المپیک با آن روبه‌رو هستند و هر یک با یاری گرفتن از متخصصان فیزیک و مکانیک جهت درک مطالب بیومکانیکی و استمداد از کارخانجات سازندهٔ دستگاههای اندازه‌گیری (برای ساخت وسائل مورد لزوم اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی) سعی در بهبود روشها، فنون شنا، نوآوری در شیوهٔ شنا و بالاخره شکستن رکوردهای جهانی دارند.

از روشهای اندازه‌گیری نیروی پیشبرنده، تا به‌حال یکی تجزیه و تحلیل سینماتیک ضربه‌ای دست شناگر است که تاکنون «بورژوا» در سال ۱۹۸۳ (۱)، «هویکه» و دیگران (۲) در سال ۱۹۷۵ انجام داده‌اند و دیگری تجزیهٔ نیروی جلوبرنده یا نیروی مقاومت آب است که می‌توان به تحقیقات «بروتلز» (۱۹۷۹) (۳) و «کلاریس» (۱۹۷۹) (۴) اشاره کرد. مورد سوم، تجزیه و تحلیل این نیرو به کمک یک مدل بیومکانیکی است که توسط «جنسن» در سال ۱۹۷۵ (۵) و «توسن» و همکاران در سال ۱۹۸۳ (۶) انجام شده است. به این ترتیب، تا به‌حال مطالعات انجام شده روی نیروهای جلوبرنده به سه دسته تقسیم شده است:

اولی، اندازه‌گیری نیروی شناگر در حوضچهٔ آب که همانند اندازه‌گیری نیرو با دینام متر است؛

دومی، روش MAD است؛

و سومی، که با اندازه‌گیری انرژی مصرفی در طول شنا از طریق اندازه‌گیری اکسیژن مصرفی معرفی می‌شود. این روشها، در واقع روشهای مستقیم اندازه‌گیری نیرو هستند؛ درحالی که روش پیشنهاد شده در این مقاله، روش غیرمستقیم است که با اندازه‌گیری پارامترهایی همچون فاصله و زمان می‌توان به مقادیر روشهای مستقیم دست یافت.

۱. قسمتی از این مقاله در چهاردهمین سمپوزیوم بین‌المللی ISBS, 96 در لیسبون پرتقال عرضه شده است.

روش‌شناسی تحقیقی

تحقیق حاضر، روشی نو در اندازه‌گیری نیروی جلوبرنده شناگران ارائه می‌دهد. در این تحقیق، نیروی شناگران در یک گروه همبسته توسط دو روش «دینامومتر» و «کار و انرژی» اندازه‌گیری شده و نتایج به دست آمده با روش تحلیلی مقایسه شده است.

مدل ریاضی

معادلهٔ نیوتن با توجه به اینکه مقاومت آب با درجه دوم سرعت متناسب است، به صورت زیر درمی‌آید: (۷)

$$F_p - CV^2 = M \frac{dv}{dt}$$

شناگر بعد از مدتی شناکردن، به حد سرعت خود می‌رسد که در این صورت معادله به صورت زیر درمی‌آید:

$$F_P = CV_L^2$$

به همین علت است که ما نیروی مقاومت آب را حساب می‌کنیم و از آنجا نیروی پیشبرنده را نتیجه می‌گیریم:

$$V_L \left[\frac{FP}{c} \right]^{1/2}$$

پس، در معادلهٔ دیفرانسیل اصلی به جای FP می‌توان مقدار مساویش را گذاشت و از آنجا معادله به صورت زیر درمی‌آید:

$$dt = \frac{M}{c} \cdot \frac{dv}{v_L^2 - v^2}$$

$$= \frac{M}{c} \left[\frac{dv}{2v_L (v_L - v)} + \frac{dv}{2v_L (v_L + v)} \right]$$

بعد از انتگرال‌گیری خواهیم داشت:

$$t = \frac{m}{2cv_L} \left| \ln (v_L - v) + \ln (v_L + v) \right|_{vo}^{v} + C$$

چون شناگر از سکون شنا می‌کند، پس در $t = O$، $vo = O$ است و بنابراین:

$$- \frac{2c}{M} tv_L = \ln \frac{v_L - v}{v_L + v}$$

و از آنجا:

$$\frac{v_L - v}{v_L + v} = E \times P \left[- \frac{2ct}{M} v_L \right]$$

با بسط تابع نهایی خواهیم داشت:

$$v_L^2 - v_L v - \frac{M}{ct} v = o$$

و در نهایت داریم:

$$v_L = \frac{- v \pm \left[v^{-2} + \frac{4M}{ct} \right]^{1/2}}{\frac{2M}{ct}}$$

با دانستن زمان صرف شده در ده متر و فاصلهٔ طی شده، می‌توان سرعت متوسط را معلوم کرد که از آنجا، نیروی پیشبرنده FP حاصل می‌شود.

تعیین ضریب مقاومت آب C

از شناگر می‌خواهیم که با سرعت اولیه، طول $X = ۱۰$ متر را شناکند و در پایان ده متر با سوت داور دیگر شنا نکند و بدون فعالیت، مسافتی را در آب بلغزد. ما این فاصله را یادداشت می‌کنیم و با فرمول زیر به مقدار c دست پیدا می‌کنیم:

معادله دیفرانسیل به صورت زیر در می‌آید:

$$- cv^2 = M \frac{dv}{dt}$$

با انتگرال‌گیری خواهیم داشت:

$$t = \frac{M}{cvo} \left(\frac{vo}{v} - ۱ \right)$$

از آنجا می‌توان نوشت:

$$v = \frac{vo}{۱ + \frac{cvo}{M} t} \approx \frac{M}{ct}$$

و بالاخره برای c خواهیم داشت:

$$c = \frac{M}{\bar{v}\, t} = \frac{M}{X'}$$

x' فاصله‌ای است که شناگر بعد از ده متر فعالیت، لغزیده است.

برای اثبات این نظریه، نخست از یکی از قهرمانان شنای دانشگاه تهران خواستیم که یک بار با سرعت آرام، یک بار با سرعت متوسط و یک بار با سرعت زیاد و در پایان نیز با

استفاده از فین (پای مصنوعی) شنا کند که در جدول (۱) نتایج آن منعکس است.

جدول شمارهٔ ۱. تعیین ضریب مقاومت آب
با معلوم بودن مسافت لغزش و سرعت متوسط شنا

ضریب مقاومت آب برحسب کیلوگرم بر متر	سرعت متوسط برحسب متر بر ثانیه	زمان طی شده در ده متر برحسب ثانیه	مسافت لغزیده برحسب متر	وضعیت شنا
20.16	1.1	9.14	3.72	آرام
15.46	1.4	7.2	4.85	متوسط
14.38	1.56	6.40	5.22	سریع
12.6	1.65	6.24	5.95	بافین

روش دینامومتری

برای این منظور، یک دستگاه دینامومتر با سنسورهای نیرو طراحی کردیم و ساختیم. طنابی را به کمربندی که بر کمر شناگر متصل است از یک‌طرف و از طرف دیگر به دستگاه دینامومتر (۷) وصل می‌کنیم و با سوت، فرمان شنا کردن را صادر می‌کنیم. سپس، بیشترین رقمی را که دستگاه دینامومتر نشان می‌دهد، یادداشت می‌کنیم. با استفاده از جدول، این اعداد را به نیرو برحسب کیلوگرم تبدیل می‌کنیم. جدول تبدیل با قرار دادن وزنه‌های معلوم روی سنسور به دست آمده است. چون دامنهٔ تغییرات نیرو در تحقیق بین ۱۰ تا ۲۲ کیلوگرم نیرو است، جدول نیز براساس آن تهیه شده است.

روش کار و انرژی

دستگاه را برای یک قرقره آماده کردیم تا وزنهٔ داخل کفه به‌طور مستقیم نیروی مورد بحث را نشان دهد. نخست از وزنه‌ای شروع کردیم که در دینامومتری به دست آوردیم. وقتی شناگر کفه را به آسانی حدود ۱۰ سانتیمتر بالا برد، وزنه را نیم کیلو نیم کیلو اضافه کردیم تا نتواند کفه را بالا ببرد. بالاخره، وزنهٔ ما قبل آن را برای شناگر منظور کردیم.

اندازه‌گیریهای آنتروپرمتری به صورت زیر دنبال شد:

- وزن شناگر؛
- قد شناگر؛
- عرض شانه ـ فاصلهٔ بین دو زائده آخری استخوان کتف؛
- دور قفسه سینه ـ در حالت دم عمیق؛
- سطح بدن با استفاده از فرمول «دوبو» براساس قد، برحسب سانتیمتر و وزن برحسب کیلوگرم به دست آمد:

$$BAS = h^{0/725} \times w^{0/424} \times 71/84 \times 10^{-4}$$

از جدول (۳) می‌توان مقادیر پارامترها را برای روش تحلیلی به دست آورد. در زیر هر ستون، مجموع هر ستون و میانگین آن آورده شده است.

در جدول (۴) ماتریس مربوط به ضرایب همبستگی بین متغیرها با استفاده از فرمول پیرسن آورده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

روش غیر مستقیم ارائه شده که برمبنی مکانیک تحلیلی پی‌ریزی شده، روش ساده‌ای است که به دو انداز، گیری طول و زمان احتیاج دارد. فرمول، نهایی را می‌توانیم به صورت برنامه به یک ماشین حساب کاسیو ۳۶۰۰ بدهیم و برای شناگر این دو اطلاعات را وارد ماشین حساب کنیم و در نهایت، نیروی پیشبرنده را به دست آوریم.

«کلاریس» در سالهای ۱۹۷۶ و ۱۹۷۹ مقاومت ایستا (نیروی مقاوم[1] درحالت غیر فعال) را برای سرعت یک متر برثانیه حدود ۳۰ نیوتن و برای سرعت دومتر برثانیه حدود ۱۲۰ نیوتن به دست آورده است. «دی پرامپرو» در سال ۱۹۷۴ و «هولمر» در سال ۱۹۷۴ مقاومت پویا (نیروی مقاوم شناگر در حال شنا) را ۱/۵ تا ۲ برابر مقاومت ایستا گزارش کرده‌اند. کلاریس در سال ۱۹۷۹، دی پرامپرو در سال ۱۹۷۴، رنی و پندرجست در سال ۱۹۷۵ با استفاده از روش غیرمستقیم مقادیری که برای مقاومت پویا داده‌اند، بیش از ۳/۱ برابر مقدار مقاومت ایستا در سرعت برابر بوده است.

«هولاندر» و همکارانش در سال ۱۹۸۶ و «وارت» و

1. Drag force

جدول شمارهٔ ۲. مقادیر محاسبه شده برای هر نمونه، جهت استفاده در فرمول تحلیلی در تست دوم تحلیلی.
در زیر هر ستون، مجموع هر ستون و میانگین داده‌ها ارائه شده است.

m	X′	C	$\bar{V}$	t	FP	$\widetilde{FP}$	FP
۵۱/۵	۵/۹۰	۱۰/۲۱	۱/۱۷	۸/۵۵	۶۷/۵۶	۶۸	۱۳۶
۶۹	۶/۳۰	۱۴/۰۲	۱/۲۸	۷/۷۹	۸۶/۲۱	۸۶	۱۷۲
۵۸	۶/۷۰	۱۰/۴۷	۱/۲۱	۸/۲۰	۵۸/۶۷	۵۹	۱۱۸
۶۷/۵	۷	۱۳/۰۲	۱/۳۵	۷/۴۰	۷۱/۸۴	۷۲	۱۴۴
۸۹/۵	۶/۶۰	۱۸/۴۴	۱/۳۶	۷/۳۴	۱۰۸/۷۴	۱۰۹	۲۱۸
۶۰	۶/۳۰	۱۲/۳۸	۱/۳۰	۷/۷۰	۷۶/۷۳	۷۷	۱۵۴
۶۴	۶/۸۰	۱۴/۳۱	۱/۴۹	۶/۷۲	۸۵/۶۲	۸۶	۱۷۲
۶۵	۶/۲۰	۱۲/۶۹	۱/۲۱	۸/۲۵	۷۸/۸۸	۷۹	۱۵۸
۷۵/۵	۶/۶۰	۱۲/۲۴	۱/۴۲	۷/۰۶	۹۷/۲۱	۹۷	۱۹۴
۷۰	۷/۲۰	۱۴/۵۸	۱/۵۰	۶/۷۰	۸۰/۷۳	۸۱	۱۶۲
۷۲	۶/۵۰	۱۵/۸۴	۱/۴۳	۷	۹۶/۵۴	۹۷	۱۹۴
۶۰	۶/۴۰	۱۲/۱۹	۱/۳۰	۷/۶۹	۷۳/۹۹	۷۴	۱۴۸
۶۹	۶/۲۰	۱۴/۶۹	۱/۳۲	۷/۵۶	۹۲/۸۵	۹۳	۱۸۶
۵۹/۵	۶/۵۰	۱۲/۱۷	۱/۳۳	۷/۵۳	۷۲/۹	۷۳	۱۴۶
۸۱/۵	۷/۰	۱۶/۱۹	۱/۴۱	۷/۰۹	۸۹/۰۴	۸۹	۱۷۸
$\Sigma = ۱۰۱۲$	$\Sigma = ۹۸/۳$	$\Sigma = ۲۰۳/۴۴$	$\Sigma = ۲۰/۰۸$	$\Sigma = ۱۱۲/۵۸$	$\Sigma = ۱۲۳۷/۵۷$	$\Sigma = ۱۲۴۰$	$\Sigma = ۲۴۸۰$
$\bar{X} = ۶۷/۴۷$	$\bar{X} = ۶/۵۵$	$\bar{X} = ۱۳/۵۶$	$\bar{X} = ۱/۳۴$	$\bar{X} = ۷/۵۰$	$\bar{X} = ۸۲/۵۰$	$\bar{X} = ۸۲/۶۶$	$\bar{X} = ۱۶۵/۳۲$

همکاران در سال ۱۹۸۶ با روشهای مستقیم، مقادیر کمتری برای مقاومت ایستا به دست آورده‌اند. در تحقیقی که «توسن» در سال ۱۹۹۰ انجام داد، مقادیر مشابهی برای کشش ایستا و پویا به دست آورد و هر دو را یکی دانست. این تحقیق، جدیدترین تحقیقی است که با دستگاه MAD انجام شده است و نشان می‌دهد که روش تحلیلی از پایداری خوبی برخوردار است و ضریب همبستگی آن ۰/۹۵ است. همچنین ثابت شد که روش تحلیلی و دینامومتری و کار و انرژی با یکدیگر یکسان است و می‌توان آنها رایکی دانست.

همچنین ثابت شد که بین متغیرهای گوناگون، همبستگی وجود دارد؛ از جمله ده متغیر زیر: نیرو از طریق روشهای تحلیلی، دینامومتری، و کار، انرژی، سن، وزن، قد، عرض شانه، دور سینه، سرعت متوسط و سطح بدن نیز با استفاده از ضریب همبستگی پیرسن.

همان‌طور که اشاره شد، روش تحلیلی، مقدار نیروی پیشبرنده را اندازه گیری می‌کند؛ درحالی که روش کار و انرژی و دینامومتر، حداکثر نیرویی راکه شناگر قادر است بر آب اعمال کند، به دست می‌دهد. چون در روش تحلیلی شناگر شنا می‌کند و سرعت دارد و در دو حالت دیگر سرعت او تقریباً صفر است، پس حالت تحلیلی، حالت پویا حساب می‌شود، درحالی که دو حالت دیگر، حالتهای ایستا هستند. نیروی به دست آمده از روش تحلیلی، نصف حالت ایستاست.

جدول شمارهٔ ۳. جدول ماتریس مربوط به ضرایب همبستگی بین متغیرها (۱۳ ـ N).

		۱ـروش تحلیلی	۲ـروش دینامومتر	۳ـکار و انرژی	۴ـسن	۵ـوزن	۶ـقد	۷ـعرض شانه	۸ـدور قفسهٔ سینه	۹ـسطح بدن	۱۰ـ
۱ـ	روش تحلیلی										
۲ـ	روش دینامومتر	۰/۹۲**									
۳ـ	روش کارو انرژی	/۰۹۲**	۰/۹۷**								
۴ـ	سن	۰/۷۶**	۰/۷۱**	۰/۷۲**							
۵ـ	وزن	۰/۸۳**	۰/۸۱**	۰/۸۵**	۰/۵۷**						
۶ـ	قد	۰/۸۴**	۰/۷۹**	۰/۸۲**	۰/۷۵**	۰/۸۷*					
۷ـ	عرض شانه	۰/۵۳*	۰/۵۹*	۰/۵۶*	N.S ۰/۴۱	۰/۵۶*	۰/۶۳*				
۸ـ	دورقفسهٔ‌سینه	۰/۶۲*	۰/۶۳*	۰/۷۲**	N.S ۰/۴۲	۰/۸۷**	۰/۸۰**	N.S ۰/۴۲			
۹ـ	سطح بدن	۰/۸۵**	۰/۸۳**	۰/۸۷**	۰/۶۳*	۰/۹۹**	۰/۹۳**	۰/۵۹*	۰/۸۸**		
۱۰ـ	سرعت متوسط	۰/۵۳*	۰/۴۸N.S	۰/۴۴N.S	۰/۴۶N.S	۰/۳۱N.S	۰/۴۳N.S	۰/۰۰۵N.S	۰/۰۹N.S	۰/۵۳N.S	

** = همبستگی در سطح آلفا ۰/۰۱ معنا دار است.
* = همبستگی در سطح آلفا ۰/۰۵ معنا دار است.
N.S = همبستگی معنا دار نیست.

تعداد هشت نفر از نمونه‌ها که سرعت متوسط آنها بین ۱/۲۴ تا ۱/۳۵ متر برثانیه بود، در یک گروه جا گرفتند و سرعت متوسط همگی آنها ۱/۳۳ متر بر ثانیه شد که در جدول [۵] نشان داده می‌شود. در نمونه‌های کشورهای خارجی، برای چنین سرعت متوسطی نیروی ۵۶ نیوتن به دست آمده است.

تعداد شش نفر دیگر از نمونه‌ها که سرعتشان بین ۱/۳۷ تا ۱/۵۲ متر برثانیه بود، در گروه دیگری جا گرفتند. میانگین سرعت آنها ۱/۴۴ متر برثانیه شد و نیروی پیشبرنده ۸۷/۸۳ نیوتن به دست آمد که در روش دیگران در کشورهای خارجی، برای همین سرعت متوسط مقدار ۶۴ نیوتن به دست آمده است. مقادیر به دست آمده در جدول [۶] منعکس است.

نتیجه‌ای که از تحقیق حاضر می‌گیریم این است که در سرعتهای برابر، نیروهای اعمال شده از طرف شناگران ایرانی

جدول شمارهٔ ۴. تبدیل مقادیر به دست آمده از دستگاه دینامومتر به مقدار نیرو برحسب کیلوگرم. این اعداد از سنسور مربعی بزرگ در حالی که سنسور در بین دو ورقهٔ مقوایی قرار داشته و دستگاه روی حساسیت کم بوده، به دست آمده است.

نیرو به کیلوگرم	عدد نمایشی	نیرو به کیلوگرم	عدد نمایشی
۱۶	۱۴۱	۹/۵	۹۶
۱۶/۵	۱۴۴	۱۰	۱۰۰
۱۷	۱۴۷	۱۰/۵	۱۰۸
۱۷/۵	۱۵۰	۱۱	۱۱۱
۱۸/۵	۱۵۶	۱۲	۱۱۷
۱۹	۱۵۹	۱۲/۵	۱۲۰
۱۹/۵	۱۶۲	۱۳	۱۲۳
۲۰	۱۶۵	۱۳/۵	۱۲۶
۲۰/۵	۱۶۸	۱۴	۱۲۹
۲۱	۱۷۱	۱۴/۵	۱۳۲
۲۱/۵	۱۷۴	۱۵	۱۳۵
۲۲	۱۷۷	۱۵/۵	۱۳۸

بیشتر از نیروی اعمال شده به شناگران سرعت معینی را نسبت به شناگران ایرانی دارند. این موضوع می‌تواند ناشی از برتری شیوه و نگهداری بدن در وضعیت مطلوب‌تر به نسبت شناگران خارجی باشد. در تحقیق حاضر، بین سرعت متوسط و سطح بدن رابطه‌ای به دست نیامد؛ همان‌طور «هیوب» و «توسن» در سال ۱۹۹۰ به همین نتیجه رسیده بودند.

در جدول (۷) مقدار به دست آمده از روش تحلیلی با سایر روشها آورده شده است.

جدول ۵. سرعت متوسط و نیروی محاسبه شده هشت نفر از نمونه‌ها با سرعت متوسط ۱/۳۳ متر برثانیه با متوسط نیروی ۸۱/۸۸ نیوتن.

نیروی جلوبرنده	سرعت متوسط
۷۰	۱/۳۳
۹۳	۱/۳۲
۱۰۱	۱/۳۵
۷۶	۱/۳۳
۷۶	۱/۳۳
۸۶	۱/۳۵
۷۶	۱/۳۴
۷۷	۱/۲۹
Σ=۶۵۵	Σ=۱۰/۶۵
$\bar{X}$=۸۱/۸۳	$\bar{X}$=۱/۳۳

جدول ۶. سرعت متوسط و نیروی محاسبه شدهٔ شش نفر از نمونه‌ها با سرعت متوسط ۱/۴۴ متربرثانیه و متوسط نیروی ۸۷/۸۳ نیوتن.

نیروی جلوبرنده	سرعت متوسط
۱۰۲	۱/۴۰
۸۱	۱/۵۱
۹۵	۱/۴۵
۹۲	۱/۴۱
۷۳	۱/۳۷
۸۴	۱/۵۲
Σ=۵۲۷	Σ=۸/۶۶
$\bar{X}$=۸۷/۸۳	$\bar{X}$=۱/۴۴

جدول شمارهٔ ۷. میانگین مقادیر نیروی محاسبه شده به روشهای گوناگون در سرعتهای مختلف

سرعت متوسط متربرثانیه	میانگین نیرو به نیوتن	مرد - زن	سال	تحقیق
				اندازه‌گیری ایستا / شرام
۱/۷	۲۷/۹	مردان	۱۹۵۸-۱۹۵۹	
				سفریان وزاچیورسکی
۱/۶	۲۵/۱	مردان	۱۹۷۲	
				مالنران و اشتافنک
۱/۳	۳۷/۶	مردان	۱۹۷۳	
				جیسکوت و کلاریس
۱/۵	۲۹/۲	مردان	۱۹۷۴	
				هولمر
۰/۹	۳۲/۵	مردان	۱۹۷۵	
				تخمین مقاومت پویا
				رنی و دیگران
۱/۲	۵۲/۹	زنان	۱۹۷۵	
				رنی و دیگران
۱/۲	۶۲/۰	مردان	۱۹۷۵	
				هولمر
۰/۹	۴۵	مردان	۱۹۷۴	
				کلاریس
۱/۴	۶۱/۲	مردان	۱۹۷۴	
				تجزیه و تحلیل فیلم
				شلای اف و دیگران
۱/۷	۲۶/۱	مردان	۱۹۸۳	
				سیستم MAD
				هولاندرو دیگران
۱/۵	۲۷/۹	مردان	۱۹۸۶	
				هولاندرو دیگران
۱/۴	۲۳/۱	زنان	۱۹۹۰	
				روش تحلیلی
				شهبازی‌مقدم - مهرور و پازوکی
۱/۴۴	۸۷/۸۳	مردان	۱۹۹۳	

منابع و مآخذ

1. Hollander, ,A.Peter, Huijing, A and de Groot, G Biomechanics and medicine in swimming, copyright 1983. Human Kinetics publisher, Inc.

2. Miller, Doris I. Nelson, Richard, C: Biomechanics of sport. copyright 1973 by LEA and Febiger

3. Hay, James G: The biomechanics of sports techniques. 1985, by prentice, hall. Inc, Englewoodcliffs, Newjersey 07632.

4. Komi, Puavo, V.: Biomechanics V - B. copyright 1976 by kinesilogy laboratorys Department of Biology of physical Activity university of Jyvaskyla.

5. Ungerechts, Bodo.E. wilke, kurt and Reischle, klaus, swimming science V. copyight 1988 by Human by Human kinetics publishers, Inc.

6. Nelson, Richard and Morehouse, chauncey, A. Biomechanics IV. copyright 1974 by university park press Baltimores, Maryland U.S.A.

7. Winter, David, A. Norman, Robert.W. wells, RIchard,P. Hayes, keith,C. and patla, Aftab.E. Biomechanics IX - B. copyright 1985 by Human kinetics publishers Inc, Box 5076 champaign, Illinois 61820.

8. Bunn, John. W. Scientific principles of coaching. copyright 1972 by prentice Hall - Inc erglewood cliffis - Newjersey

9. Asmussen ,E. Biomechanics VI - B. copyright 1980 by Baltimore.