UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Srovnávací kineziologická analýza plaveckého kroku a vybraných posilovacích cvičení

The comparative kineziologic analysis of a swimming cycle and the selected streghtend exercises

Vedoucí práce:
Doc. PaedDr. Bronislav Kračmar, CSc.

Zpracoval:
Bc. Tomáš Brtník

Praha, duben 2009

Abstrakt:

Název: Srovnávací kineziologická analýza plaveckého kroku a vybraných posilovacích cvičení

Cíl práce: Cílem práce je porovnání zapojení svalů v oblasti ramenního pletence při plaveckém kroku a ve vybraných posilovacích cvičeních

Metoda: Povrchové elektromyografické měření v kombinaci s plošnou kinematografickou analýzou pomocí synchronizovaného videozáznamu.

Výsledky: Timing svalové aktivace plaveckého krokového cyklu kraul ve vodním prostředí je srovnatelnější s timingem svalové aktivace krokového cyklu při použití gumového expanderu než s timingem svalové aktivace při použití plaveckého trenažeru.

Klíčová slova: plavecký krok, pletenec ramenní, povrchová elektromyografie, kinematická analýza

Abstract:

Title: The comparative kineziologic analysis of a swimming cycle and the selected streghtend exercises

Purposes: The aim of the thesis is to compare muscle timing in shoulder girdle during a swimming cycle and the selected streghtend exercises

Methods: Surface electromyography combinated with kinematography analysis used synchronized video recording.

Results: The muscle activation timing of the swimming cycle crawl in the water proof is more comparative with the muscle activation timing of the stepping cycle by the rubber expander use than the swimming simulator use.

Key words: Swimming cycle, shoulder girdle, surface electromyography, kinematics analysis.

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat všem, kteří mi s prací pomáhali, obzvláště Doc. PaedDr. Bronislavu Kračmarovi, CSc. za odborné vedení, poskytnutí potřebných podkladů a cenných rad při zpracování práce a jeho nasazení při jejím dokončení.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Doc. PaedDr. Bronislava Kračmara, CSc. Dále prohlašuji, že jsem do seznamu použité literatury uvedl všechny použité zdroje. Souhlasím s případným použitím mé diplomové práce pro studijní účely.

.....

Bc. Tomáš Brtník

Obsah

1	**Úvod**		7
2	**Cíle a úkoly práce**		8
3	**Hypotézy**		8
4	**Teoretická východiska**		9
	4.1	Historie plavání	9
	4.2	Plavecké způsoby	10
	4.2.1	*Plavecký způsob kraul*	*11*
	4.3	Biomechanické základy plavání	19
	4.4	Fylogenetické souvislosti	20
	4.5	Svalové řetězce v oblasti ramenního pletence	24
	4.6	Povrchová elektromyografie	28
5	**Metodika práce**		30
	5.1	Obecná charakteristika výzkumu	30
	5.2	Omezení metody EMG	31
	5.3	Charakteristika sledovaného probanda	32
	5.4	Charakteristika použitých metod a přístrojů	32
	5.4.1	*Mobilní přístroj EMG*	*33*
	5.4.2	*Videokamera*	*34*
	5.4.3	*Plavecký trenažér*	*34*
	5.4.4	*Gumový expander*	*34*
	5.5	Charakteristika vybraných svalů	35
	5.6	Sledované svaly	39
	5.7	Popis techniky měření	41
	5.8	Způsob vyhodnocení a interpretace dat	41
6	**Výsledky práce**		43
7	**Diskuse**		52
8	**Závěr**		66
9	**Seznam použitých zkratek**		69
10	**Použitá literatura**		70
11	**Přílohy**		72

1 Úvod

Plavání je jednou ze sportovních aktivit, kterou může provozovat téměř kdokoliv. Je jen málo případů, kdy není plavání doporučováno, jedná se zejména o důvody zdravotní, a to rázu akutního. Plavání nechápeme jen jako sport či volnočasovou aktivitu, ale taktéž jako možnost rehabilitace při různorodých zdravotních problémech.

Z pohledu fyzioterapeuta je možné vytvořit bezpočet způsobů, jak vodní hladinu zdolávat, je třeba brát zřetel na rozsah a lokalizaci zdravotního postižení. Z pohledu sportovců, ať už rekreačních či vrcholových, jsou v odborných publikacích vytýčeny čtyři plavecké styly, a to: kraul, prsa, znak a motýlek.

V této práci se budu zabývat plaveckým stylem kraul. V současnosti se jedná o nejefektivnější plavecký způsob. Pro svou efektivitu je využíván i v dalších sportech, jejichž součástí je plavání, např. vodní pólo, triatlon či podvodní rugby.

Za pomoci povrchové elektromyografie se budu snažit vytvořit rámcovou mapu koordinace vybraných svalů ramenního pletence při pohybovém cyklu jednoho záběru. Použití mobilního EMG přístroje a podvodní kamery nám dovolí provést výzkum v reálných podmínkách. Současné snímání videozáznamu pod vodní hladinou a jeho synchronizace s přístrojem EMG nám umožní sledovat polohu probanda v konkrétní fázi pohybu a zároveň porovnávat s EMG aktivitou vybraných svalů. Záznam EMG může ukázat, kdy se do pohybu zapojí konkrétní sval a kdy daný sval relaxuje.

Na základě zjištěných údajů bude možné vyslovit závěr o doporučení využití tohoto tréninkového prostředku pro zdokonalení techniky plavání technikou kraul a pro zařazení těchto cvičení do rekreačního a postrehabilitačního pohybového režimu..

2 Cíl a úkoly práce

Cíl práce

Cílem práce je srovnání plaveckého kroku a vybraných posilovacích cvičení pomocí kineziologické analýzy

Úkoly práce

1. Shromáždění teoretických podkladů o plaveckém stylu kraul
2. Shromáždění teoretických dat anatomie a kineziologie ramenního pletence
3. Zvolení vhodného probanda a příprava prostředí pro realizaci měření
4. Zmapování a vybrání vhodných svalů, které budou předmětem měření
5. Analýza aktivace a relaxace vybraných svalů v oblasti ramenního pletence při plaveckém stylu kraul ve vodním prostředí, na plaveckém trenažeru a při použití posilovacího expanderu
6. Zpracování a interpretace dat

3 Hypotézy

H1

Timing svalové aktivace vybraných svalů, měřených při plaveckém záběru volnou technikou bude bližší s timingem svalů aktivovaných při použití plaveckého trenažeru, než při použití gumového expanderu.

H2

Podobnost timingu nástupu svalové aktivace měřených svalů bude v porovnání plaveckého trenažeru s gumovým expanderem bližší, než jednotlivé posilovací cviky porovnané s plaveckým záběrem volnou technikou.

4 Teoretická východiska

4.1 Historie plavání

Počátky sportovního plavání byly těsně spjaty s vytrvalostními výkony. Popud k těmto výkonům dal anglický básník lord G. G. Byron. Aby si ověřil pravdivost řecké báje o Leandrovi, přeplaval roku 1810 Dardanelskou úžinu. O šedesát pět let později, v roce 1875, zdolal anglický kapitán M. Webb kanál La Manche. Tím, že byl změřen čas, 21 hodin a 45 minut, byla hozena rukavice dalším následovníkům. V roce 1971 přijal výzvu a kanál přeplaval i náš František Venclovský (Hoch, 1987).

První plavecké závody u nás se konaly roku 1845 při příjezdu prvního parního vlaku z Olomouce do Prahy. Závody v těchto dobách se pořádaly v rámci lidových slavností a měly převážně exhibiční charakter. Počátky sportovního plavání souvisely se zakládáním prvních sportovních klubů v 90. letech minulého století. 5. srpna 1895 uspořádal náš nejstarší sportovní klub AC Praha plavecké závody mezi Slovanským a Střeleckým ostrovem v Praze (Hoch, 1987).

Roku 1908 byla založena mezinárodní plavecká federace FINA (Fédératio Internationale de Natation Amateur). V průběhu vývoje byly v rámci FINA zřízeny komise skoků do vody (r. 1928), vodního póla (r. 1928) a synchronizovaného plavání (r. 1956).

Těsně před první světovou válkou byly zakládány plavecké odbory ve sportovních klubech. Tyto odbory řídila plavecká komise při ČAAU (Česká amatérská atletická unie). Významný propagátor plavectví, Vilém Makovička, dal popud k vytvoření samostatného plaveckého svazu, avšak jeho myšlenka se realizovala až 19. ledna 1919, kdy byl založen Československý amatérský plavecký svaz (CSAPS) (Hoch, 1987).

Řídící složky plaveckého sportu pořádaly od roku 1919 každoročně mistrovství republiky v plavání, skocích do vody (od r. 1920) a vodním pólu (od r. 1919). V roce 1921 ČSAPS výjimečně mistrovství nepořádal, ale přidělil jednotlivé disciplíny klubům, aby je zařadily do programu svých klubových závodů. V souvislosti s výstavbou krytých bazénů se vytvořila tradice zimních mistrovství. V roce 1954 se

konalo mistrovství mužů a žen desetičlenných družstev. Na tyto závody potom navázala plavecká liga – dlouhodobá soutěž družstev. Další významnou soutěží byl plavecký pětiboj. Pětiboj se plaval od roku 1954 náhradou za zimní mistrovství a měl zabezpečit a prověřit všestrannou plaveckou přípravu. Od roku 1957 se začal postupně rušit ve všech věkových kategoriích (Hoch, 1987).

Výkonnost československého plavectví do značné míry souvisela s výstavbou plaveckých zařízení i s rovní trenérských kádrů. (Hoch, 1987)

Do roku 1930 se pořádala mistrovství republiky i mezistátní utkání v Praze v lodní propusti u mostu Legií (Hoch, 1987).

Mezníkem při výstavbě plaveckých zařízení byl rok 1927. V tomto roce byl v Praze v Klimentské ulici otevřen moderní, krytý 25m bazén. Protože však jeho provoz nebyl rentabilní, byl bazén po deseti letech užívání zrušen a přeměněn v archív. Další bazény vyrůstaly pomalým tempem. V roce 1938 bylo na našem území pouze osm krytých 25m bazénů (Hoch, 1987).

K podstatným změnám ve výstavbě bazénů došlo až v šedesátých letech. Jen v roce 1965 bylo postaveno více krytých plováren než za celé období první republiky (Hoch, 1987).

V současné době se jen na území hlavního města Prahy nachází 18 krytých bazénů rozličných délek a počtu plaveckých drah.

4.2 Plavecké způsoby

Rozbor dnešní plavecké techniky má časově omezenou platnost, protože se mění nejen plavecká technika, ale i příslušná pravidla plavání FINA. V blízké minulosti se objevily nové poznatky v mechanice plavání (Bernoulliho princip) i novinky v technice plavání na prsa pod vodou (Motyčka, 2001).

V současné době se v rámci sportovního plavání uvádějí čtyři plavecké způsoby: kraul, prsa, znak a motýlek.

4.2.1 Plavecký styl kraul

Historie

Plavání v poloze na prsou s využitím střídavých pohybů končetin patří mezi nejstarší způsoby lidských lokomocí. O tom svědčí četná zobrazení plavajícího člověka z egyptské i řecké éry. S největší pravděpodobností člověk napodoboval svými pohyby plavání zvířat. Proto má první vývojové stadium, kraul bez vytahování paží, v mnoha jazycích tak příznačný název – čubička, pudl atd. (Hoch, 1987).

Jestliže chceme pochopit skutečnost, že v disciplíně označené volný způsob, plavou závodníci kraulem, je třeba se vrátit do historie plavání. Na I. olympijských hrách v roce 1896 a jiných soutěžích té doby, bylo zařazeno pouze „plavání" a délka tratě, jež měla být překonána. Každý potom plaval, jak uměl. Nejrychlejší plavci té doby plavali technikou tzv. trudgeonu (tredžnu), někdy též nazývanou „španělským rázem" (Hofer, 2006).

Technika trudgeonu byla v plavecké příručce z roku 1924 popsána takto: „S rázem (rozumí se se záběrem) pravé paže, předpaží se levá z vody již pozvednutá a zároveň prudký příraz nohou. Po přinožení, předpaží se pravá ruka a levá začíná nový ráz". Brzy se ukázalo, že plavci, kteří používali jiných technik, nemohli trudgeonu konkurovat. Protože soutěžení v jedné společné kategorii odporovalo zásadám sportovní etiky, byly ve sportovních pravidlech postupně definovány další plavecké způsoby. Avšak i samotný trudgeon měl závažné nedostatky. Plavci si uvědomovali, že hlavní zápor této techniky spočívá v práci nohou. Nůžkovitý záběr nohou sice uděloval plavci velké zrychlení, to však bylo zmařeno následným pohybem ve směru plavání. Počáteční etapa vývoje nerychlejší plavecké techniky byla proto spojována s problematikou práce dolních končetin i jejich příspěvkem k celkové propulzi plavce. Na II. olympijských hrách v Paříži r. 1900 vzbudil velkou pozornost Australan F. Lane. Lane prováděl střídavé kopy nohama vertikálním směrem, a to na jeden záběr paží, jeden kop nohou. Pohyb vycházel z kolenního kloubu. Protože touto technikou plavali i další zástupci mladého kontinentu, jako například C. Healy, začalo se hovořit o australském kraulu (Hofer, 2006).

Je zajímavé, že otázku brzdících pohybů dolních končetin řešil další vynikající plavec té doby Maďar Z. Halmay jiným způsobem. Aby odstranil brzdící účinky nohou, plaval pouze pažemi. Přes tento „handicap" byl ostatním vždy rovnocenným soupeřem. Halmay tak již na začátku 20. století potvrdil tézi o rozhodujícím podílu paží při vytváření propulzní síly u kraulu (Hofer, 2006).

Způsob přenosu nad hladinou byl velice charakteristickým rysem techniky kraulu a proto se často stal znakem různých tzv. plaveckých škol pojmenovaných podle národnosti právě vynikajícího plavce. Racionálním přístupem k plavecké technice, se v padesátých letech, vyznačovali australští trenéři. Při rozboru plaveckých technik se ve větší míře zaměřovali na činnost končetin pod hladinou, což jim umožňovala zdokonalená filmová technika (Hofer, 2006).

Australané používají starou techniku, poprvé představenou Murry Rosem a podrobně popsanou a rozebranou Charlesem Silviem z kineziologického pohledu. Od této doby se v plaveckých kruzích spekuluje o drobných odlišnostech australské plavecké školy v porovnání s ostatním světem a možnosti využití těchto drobností pro zlepšení výkonosti vlastních sportovců.Australští plavci totiž z dlouhodobého hlediska dosahují nejlepších výkonů (Marshall, 2000).

Vývoj techniky nohou dovršil havajský plavec D. Kahanamoku, který v barvách Spojených států, zvítězil na olympijských hrách ve Stockholmu v roce 1922. Kahanamoku prováděl též kopy vertikálním směrem, avšak pohyb již vycházel z kyčelních kloubů, odkud se vlnovitě přenášel do uvolněných kotníků (Hofer, 2006).

Technika

Volný způsob. V takto označené disciplíně může závodník plavat jakýmkoliv způsobem. V polohovém závodě a v polohové štafetě znamená volný způsob jakýkoliv jiný způsob než znak, prsa nebo motýlek. Při dokončení každé délky bazénu a v cíli se plavec musí dotknout stěny kteroukoliv částí těla (Motyčka, 2001).

Volný způsob (kraul) je nejrychlejší a pro většinu lidí i technicky nejnáročnější způsob plavání. Pravidly je nejméně omezen. Náročný je pro obtížnost dokonalé techniky dýchání a její souhry s asymetrickými pohyby paží a pro obtížnost dokonalé práce nohou (Motyčka, 2001).

Vývoj techniky byl ovlivněn skutečností, že se uplatňuje v disciplíně volný způsob. Plavci a jejich trenéři v přípravě na vrcholné závody hledali a stále hledají optimální techniku ve vztahu k délce tratě. Hlavní hnací silou jsou záběry horních končetin, záběry dolních končetin mají hlavně funkci stabilizační a vyrovnávací. Nejčastěji se plave tzv. šestiúderovým kraulem. Na jeden záběrový cyklus horních končetin připadá šest záběrů nohama (Čechovská, 2001).

Poloha těla. Tělo je na hladině v mírně šikmé poloze, při níž jsou ramena poněkud výše než boky. Nejníže je spodní část hrudníku. Při výdechu se plavec dívá pod vodou vpřed dolů a hlava svým temenem rozráží vodní hladinu. Úhel mezi hladinou a podélnou osou těla (úhel polohy těla) se mění v závislosti na rychlosti plavání (Hoch, 1987).

Při pomalém plavání se pohybuje tento úhel v rozmezí 5 - 10°. S rychlostí se úhel zmenšuje, někdy až na 0°. Při velkých rychlostech vystupují záda a část hýždí nad hladinu, neboť tyto oblasti se nacházejí v důlu dvou vln, z nichž první vzniká před hlavou a druhá v blízkosti pánve (Hofer, 2006).

V průběhu jednotlivých záběrů se horní část trupu vychyluje kolem podélné osy těla. Maximální vychýlení se mění v rozmezí 40-50° a zapadá do prvé části záběrové fáze. Na vdechové straně je otočení těla vždy o něco větší. S rychlostí plavání se úhel maximálního vychýlení zmenšuje (Hoch, 1987).

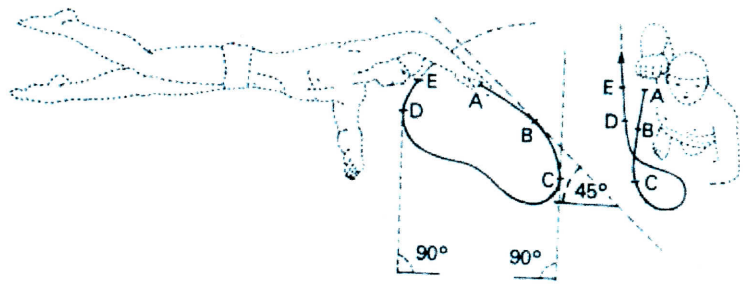
Rozhodující hnací sílu tvoří pohyby horních končetin. V průběhu jednoho cyklu horních končetin provede plavec v určité časové posloupnosti jeden cyklus levou a jeden cyklus pravou končetinou (Hoch, 1987).

Fáze pohybového cyklu horních končetin

Cyklus jedné končetiny lze rozdělit na fáze. Fáze cyklu byly určeny na základě pohybu ruky vzhledem k vodnímu prostředí. Ruka má při záběru největší význam, neboť má velkou plochu, může měnit tvar a pohybuje se největší rychlostí. Ruka sleduje pod hladinou složitou prostorovou křivku, kterou si lze představit pomocí průmětů do dvou rovin (Hoch, 1987).

Při určování fází pohybového cyklu horních končetin bylo využito průmětu dráhy ruky do svislé roviny proložené dráhou plavce (boční průmět). Za začátek cyklu byl stanoven průsečík dráhy ruky s hladinou po přenosu vpřed. Kritériem se stal směr

pohybu. Proto byly k získanému obrazci sestrojeny tečny, které svíraly s nárysem hladiny úhly 45° a 90° (Hoch, 1987) (obr. 1)

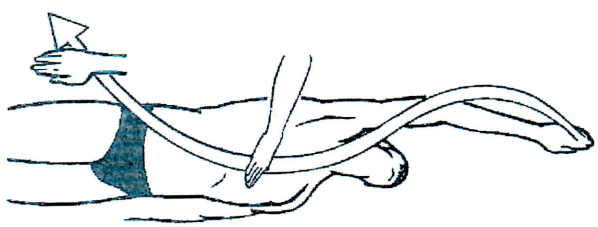


Obr. 1: Dráha horní končetiny pod hladinou (Hoch, 1987)

Pohybový cyklus horní končetiny při plaveckém způsobu kraul můžeme rozdělit na tři základní: přípravná, záběrová a fáze vytažení a přenosu.

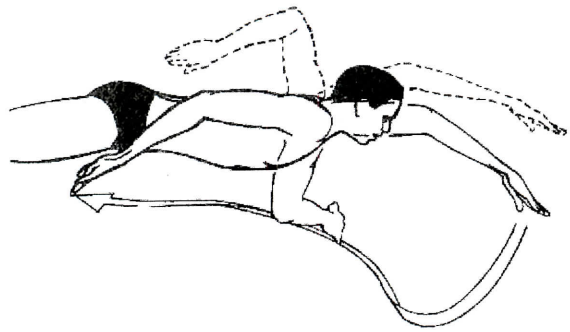
Přípravná fáze začíná protnutím hladiny rukou. V průběhu této fáze se ruka pohybuje vpřed dolů - směr vpřed převažuje, ponořuje do vody v pořadí prsty, předloktí, loket. Potom se plavec otáčí na stranu zasouvající se ruky.

Záběrová fáze je hnací fází pohybového cyklu. Můžeme ji rozdělit na dvě části, a to: a) „přitahování", b) „odtlačování". Končetina se pohybuje vzad, tj. proti směru pohybu plavání - z počátku nazad dolů, poté se začíná ohýbat v loketním kloubu a ruka směřuje k podélné ose těla. Plavec zabírá jak dlaní, tak plochou předloktí. Během první poloviny záběru dochází k přitahování paže pod trup a pokračuje pod trupem až do úplného natažení horní končetiny vně od podélné osy těla. Během tohoto pohybu plavec provádí esovitý pohyb (viz obr. 2) záběrovou horní končetinou. Záběr končí v oblasti kyčelního kloubu. Druhá část záběru se nazývá odtlačování. Po ukončení záběru plavec vytahuje končetinu z vody.



Obr. 2: Esovitý pohyb horní končetiny pod hladinou (Winderickx, 2009)

Fáze vytažení a přenosu - v této fázi se pohybuje ruka nahoru vpřed. Vznikají brzdící a stlačné síly. Končetina je vytahována loktem napřed. Fáze přenosu - záběrové svaly jsou uvolněné. Podobu přenosu se klade důraz na co nejvyšší polohu lokte. Přenos je uvolněný a kontrolovaný pohyb.

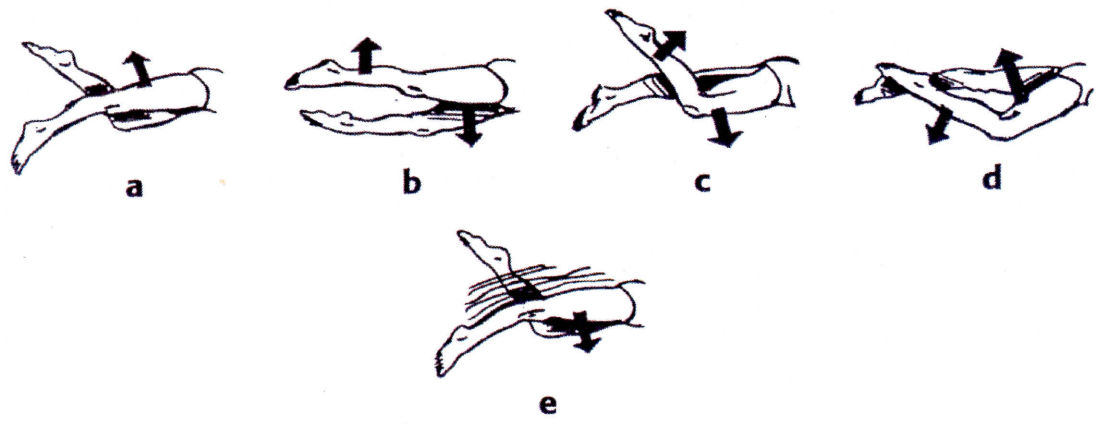


Obr. 3: Fáze pohybového cyklu horní končetiny (Winderickx, 2009)

V současné době není jednotný názor na průběh svalového úsilí při záběru. Někteří autoři se domnívají, že nejlepší plavci dovedou v krátkém časovém úseku, pravděpodobně již na začátku záběrové fáze, vyvinout velké svalové úsilí, které udržují v průběhu celého záběru na vysoké úrovni. Na konci záběru potom v krátkém časovém úseku relaxují. Část autorů se naopak domnívá, že plavci v průběhu záběru svalové úsilí neustále stupňují. Svalové úsilí při kraulovém záběru je obvykle charakterizováno jako tah a tlak (Hofer, 2006).

Práce dolních končetin

Ve srovnání s pažemi je podíl hnací síly nohou podstatně menší. Je tomu tak proto, že plocha nártu je poměrně malá a pohyblivost v hlezenním kloubu nízká. Dolní končetiny vytvářejí hnací sílu vlnivým kmitavým pohybem, který vychází z kyčelního kloubu a přenáší se postupně až do kloubu hlezenního (Hoch, 2000).



Obr. 4: Pohyby dolních končetin (Hofer, 2006)

Dolní končetiny v technice kraul plní hlavně funkci stabilizační, kdy udržují tělo na hladině tím, že vyrovnávají pohyby horních končetin a rotaci trupu. Hlavními záběrovými plochami jsou plocha nártu a dolní část bérce. Plavecká technika kraul je charakterizována střídavou činností dolních končetin, při níž dochází k rotaci těla kolem podélné osy.

Jeden cyklus pro pohyb dolní končetiny můžeme rozdělit na dvě fáze – vzestupnou a sestupnou, přičemž cyklus dolních končetin trvá asi 1/3 doby cyklu končetin horních. Při vzestupné fázi je dolní končetina tažena vzhůru k hladině a při fázi sestupné je dolní končetina vedena od hladiny směrem dolů.

Za začátek cyklu budeme považovat dolní krajní polohu nohy (obr. 4a). V tomto okamžiku je dolní končetina natažená, přičemž mírně přesahuje podélnou osu těla (v sagitální rovině). Vlivem předchozího pohybu je nárt otočen co nejvíce dovnitř (inverze v hlezenním kloubu). V následné fázi se celá končetina pohybuje nahoru. Končetina je natažená v kolenním kloubu, protože čéška již další pohyb nedovoluje. Noha se natáčí vlivem tlaku kolem proudící vody do everzní polohy, při které klade co nejmenší odpor (obr. 4b). Svaly ovládající bérec a nohu jsou relaxované. Impulz k extenzi v kyčelním kloubu je vlastně reakcí na kop končetiny dolů. Pohyb nahoru je prováděn s relativně malým úsilím. (Hofer, 2006).

Pohyb dolů (fáze sestupná) je započat flexí v kyčelním kloubu. Zpočátku je svalstvo ovládající bérec a nohu uvolněné, a proto bérec i noha pokračují ještě v pohybu

nahoru. Končetina se proto ohýbá v kolenním kloubu (obr. 4c). Následná mohutná extenze v kolenním kloubu je příčinou bičovitého pohybu. Relaxovaný nárt se otáčí vlivem tlaku vody dovnitř (inverze). Rozsah pohybu v hlezenním kloubu je omezen jeho pohyblivostí. Hnací sílu vytváří plocha nártu a dolní část bérce. Vertikální složka síly se následně projevuje v reakci stehna při pohybu nahoru a tím je započet další cyklus (Hofer, 2006).

Dýchání

Základní poloha plavce na břiše nedovoluje plavci volné dýchání. V plavecké technice kraul je dýchání úzce spojeno s činností horních končetin, trupu a se snahou nenarušení hydrodynamické polohy na vodní hladině.

Plavec se nadechuje během fáze vytažení a přenosu, kdy využívá rotaci hlavy a torzi trupu. Plavec se nadechuje těsně u vodní hladiny s využitím podmínek sestupné části vlny, která v oblasti obličeje snižuje úroveň hladiny. Nádech je proveden rychle, a to pouze ústy plavce. V průběhu vdechu stejnostranná paže dokončuje fázi záběrovou, probíhá vytažení a zahajuje fázi přenosovou. Paže nesouhlasná je ve fázi přípravné.

Po dokončení nádechu se hlava otáčí do původní pozice obličejovou částí pod hladinu. Následuje výdech ústy i nosem do vody. Včasným nádechem a rychlým zpětným pohybem hlavy plavec nenarušuje činnost horních končetin.

V plavecké technice kraul se plavci mohou nadechovat v různých intervalech. Buď se nadechují na stranu pouze jedné paže (nádech na každý druhý pohybový cyklus) nebo se nadechují střídavě na obě paže, a to buď na každý pohybový cyklus nebo po jednom a půl cyklu plaveckého pohybu. Frekvence nádechu se u plavců liší dle plavecké distance. Sprinterské tratě se vyznačují menším počtem nádechů oproti vytrvaleckým, kdy je pro dlouhodobý aerobní výkon nutná pravidelná ventilace (Colwin, 2002).

Zapojení svalů

Při záběrové fázi horní končetiny dochází k zapojení svalů:

- rameno flexe: m. pectoralis major, m. latissimus dorsi, m. teres major, m. deltoideus
- loket flexe: m. biceps brachii, m. brachialis, m. brachioradialis

extenze: m. triceps brachii, m. anconeus

- předloktí supinace: m. biceps brachii, m. supinator
  pronace: m. pronator teres, m. pronator quadratus
- zápěstí mírná abdukce a addukce: mm. extenzoris carpi ulnaris, m. flexor carpi, ulnaris

Při přenosové fázi horní končetiny dochází k zapojení svalů:

- rameno dorzální flexe: m. latissimus dorsi, m. teres major, m. deltoideus
  abdukce: m. deltoideus, m. supraspinatus, m. serratus, m. infraspinatus, m. pectoralis major
- loket flexe: pasivně – gravitace + fixace: m. deltoideus, m. pectoralis major, m. coracobrachialis
  extenze: m. triceps brachii, m. anconeus
- zápěstí mírná plantární flexe – gravitace

Hlava - při nádechu:

- rotace: m. sternocleidomastoideus(opačný), systém spinotransverzální, m. scaleni

Dolní končetiny - záběr - kopnutí:

- kyčel - flexe: m. illiopsoas, m. rectus femoris, m. pectineus
- extenze v koleni: m. quadriceps femoris (+ fixace hemstringy)
- následuje extenze v kyčli: m. gluteus maximus, m. biceps femoris (caput longum), m. semitendinosus, m. semimembranosus
- mírná flexe v koleni - setrvačnost + m. biceps femoris, m. semitendinosus, semimembranosus
- hlezenní kloub – pasivně - uvolněný (Čihák, 2001).

4.3 *Biomechanické základy plavání*

Plavání patří mezi cyklické lokomoční pohybové aktivity. Lokomoce plavce, tj. jeho postupný pohyb, je výsledkem působení vnitřních (svalových) a vnějších (hydrodynamických) sil (Hoch, 1987).

Při teoretickém rozboru pohybu člověka ve vodě při plavání je nutno respektovat nejen zákony prostředí, tj. zákony hydromechaniky (interakci lidského těla s vodou), ale i zákony anatomie a fyziologie. Zákony pohybu živých těl se zabývá biomechanika (Motyčka, 2001).

Plavec provádí svými končetinami pohyby ve vodě a vzniklých hydrodynamických sil využívá k vytvoření propulzní síly. Současně však hydrodynamické síly, které při lokomoci vznikají, pohyb plavce rozhodujícím způsobem brzdí. Skutečnost, že hydrodynamické síly lokomoci umožňují a zároveň i ztěžují, vedla k rozlišení hnacích a brzdících sil (Hoch, 1987).

Významnou hnací složkou při plavání jsou síly vytváření pohyby horních končetin a z nich nejúčinnější jsou pohyby ruky. Do konce 60. let se předpokládalo, že optimální záběr paže při kraulu z hlediska vytvoření maximální hnací síly musí probíhat v rovině rovnoběžné se střední rovinou proti směru lokomoce plavce, přičemž distální část paže – ruka – musí při záběru zaujímat polohu, při níž je dlaň kolmá na směr pohybu ruky. Podkladem této úvahy byla známá skutečnost, že odpor vody při této poloze ruky je největší. Reakce odporu vody na dlaň definovaná jako „reakce opory" byla dominantní hnací silou plavce a prostřednictvím celého řetězce segmentů horní končetiny se přenesla na trup plavce a uvedla jej do pohybu (Hofer, 2006).

Teoretické i experimentální práce zaměřené na vysvětlení tohoto jevu dospěly k zjištění, že velikost hnací síly plavce při kraulu lze ovlivnit kromě „reakcí opory" ještě další hydrodynamickou sílou vznikající při pohybu ruky vodou. Tato síly, kolmá na směr odporu, byla pojmenovaná hydrodynamickým vztlakem v souhlase s technickým názvoslovím, používaným v hydrodynamice tekutin (Hofer, 2006).

Brzdící síly působí za pohybu plavce nepřetržitě a jejich velikost se mění s rychlostí plavání. Hnací síly působí pouze během záběrových pohybů, tzn. přetržitě. Dobu, při které plavec nezabírá, nazýváme mezizáběrovou přestávkou. Během této

přestávky se tělo pohybuje setrvačností, přičemž rychlost plavání klesá vlivem brzdících sil. Po ukončení mezizáběrové přestávky opět plavec urychluje pohyb svého těla účinkem hnacích sil. Kromě vzrůstajících brzdících sil musí ještě překonávat setrvačné síly (Hoch, 1987).

Objektivní posouzení podílu vztlaku a odporu ruky na hnací síle plavce, lze však uskutečnit pouze experimentálními metodami pomocí složitých měřících a záznamových zařízení, umožňujících třírozměrnou analýzu pohybu (Hofer, 2006)

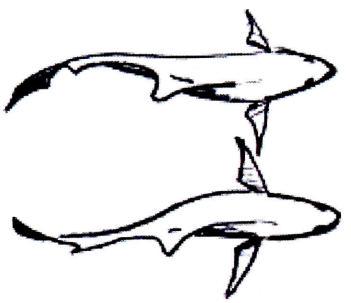
4.4 Fylogenetické souvislosti

Ve vodě se dá provozovat mnoho rekreačních činností, s vodou jsou spojeny sportovní disciplíny výkonnostního i rekreačního charakteru, s vodou souvisí léčebné postupy v rehabilitaci, pohyb ve vodě je velkým přínosem pro naší pohybovou soustavu.

Vztlaková síla tělo nadnáší a klouby jsou tak méně zatížené. Plavání je přirozeným pohybem člověka ve vodě.

Ve vodním prostředí nenalezneme pevnou oporu pro chůzi jako na pevné zemi. Ryby se proto pohybují pravolevým vlněním trupu a především pomocí ocasní ploutve.

Jedná se o původní způsob pohybu obratlovců ve vodním prostředí (obr. 5).



Obr. 5: Vlnivý pohyb obratlovců ve vodním prostředí (Kračmar, 2007)

Velkou roli zde hraje nejhlubší, autochtonní muskulatura nejblíže kolem páteře. Postupné zapojování svalů vytváří vlnivý pohyb jednotlivých segmentů směrem kraniokaudálním. Tento způsob lokomoce plně odpovídá kapalnému prostředí. Ploutve

nejsou hlavním orgánem lokomoce, mají funkci především vyrovnávací (Kračmar, 2007)

Postupně dochází k přestupu živočichů na souš, kde fungují zcela odlišné fyzikální zákony (Romer, 1967).

Na souši je nalezena pevná opora pro pohyb. Pravolevé vlnění trupu přestává být účinné, ocasní ploutev ztrácí svou rozhodující úlohu při zajištění pohybu živočicha. Tuto úlohu přebírají dva páry ploutví nyní přeměněné v končetiny, které jsou umístěné po stranách těla a postupně se přizpůsobují pro pohyb na pevné podložce. Využívají pevného podkladu, který uchopí, přitahují se k němu nebo se od něj odrážejí a posunují živočicha vpřed. Oporu o pevný podklad pro dopředný pohyb využívá pravá přední a levá zadní končetina, zatímco levá přední a pravá zadní se pohybující vpřed vlastně nakračují pro další krok. V další fázi se končetiny stranově mění a vzniká opakovaný cyklus, jehož výsledkem je pohyb živočicha vpřed po pevné zemi. Pohyb vpřed je tedy zajištěn zkříženě, diagonálně (i když s určitým fázickým posunem) (Vacková, 2004).

U savců, živočichů pohybujících se po pevné zemi se tedy začal objevovat pevně daný kvadrupedální lokomoční vzor.

Kvadrupedální lokomoce

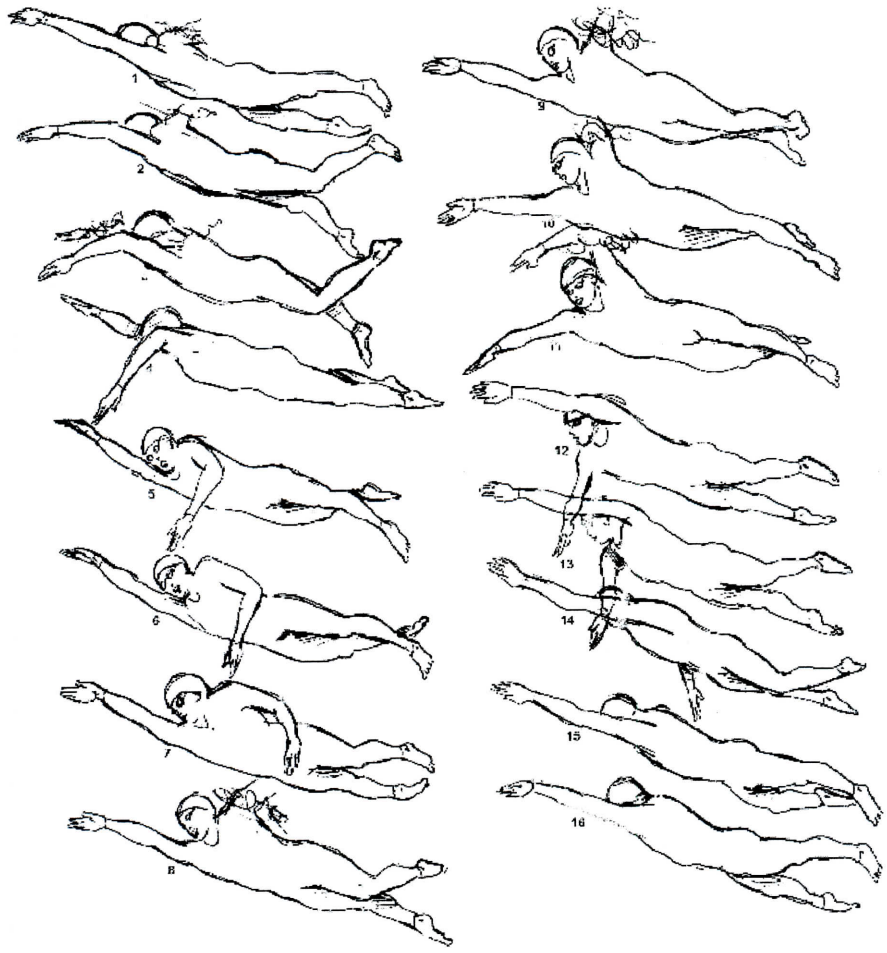
Podle nejnovějších poznatků se začátek kvadrupedální lokomoce datuje do období devonu, kdy první přechodové druhy čtvernožců, vybavené ještě žábrami, používaly končetiny opatřené osmi až pěti prsty k pohybu v bažinách výhodněji než ryby s ploutvemi. Vývojový řetězec dospěl až k dvouoporové lidské chůzi, vedoucí k bouřlivému rozvoji intelektu, umožněného osvobozením horní končetiny pro práci (Kračmar, 2002).

Všeobecně se předpokládá, že lokomoční pohyb živočichů je řízen centrálním motorickým programem, zakódovaným v programech neuronální sítě. Chůze, běh, let, plavání jako lokomoční pohyb jsou zajišťovány generátorem pohybu jako rytmická reciproční činnost dvou antagonistických svalových skupin (Pauch, 1997) Generátor pohybu je samostatně pro každou končetinu lokalizován v prodloužené míše a u nižších živočichů je pod vlivem bazálních ganglií. U živočichů s rozvinutým kortexem je generátor pohybu aktivován z oblasti retikulární formace středního mozku (mesencefalická lokomoční oblast) s určením typu lokomoce – chůze, běh, cval, sprint.

U vyšších živočichů bazální ganglia sestupují z pozice nejvyššího motorického ústředí do role koordinátora reflexních – neúmyslných pohybů s pohyby úmyslnými (Dylevský, 1994) Z ganglií jsou vysílány impulsy pro řízení výkonných motorických center, určující parametry pohybu jako rychlost, frekvenci, sílu a směr lokomočního pohybu. Předpokládá se, že reflexní režim pracující na úrovni spinální míchy upravuje motorický program pohybového generátoru na podkladě aferentní signalizace tak, aby lokomoce byla sladěna s terénem, po kterém se uskutečňuje (Králíček, 1995).

Člověk je prostřednictvím kvadrupedálního zkříženého lokomočního vzoru uzpůsoben pro pohyb v zevním prostředí. Vyvstává zde výrazný protiklad pohybů podle umělého souřadnicového systému vytvořeného pro potřeby ortopedické a popisně anatomické (Vystrčilová, 2006). Tomuto pojetí mechanického pohledu podle předepsaných pohybových schémat odpovídá gymnastické názvosloví i přežívající systém cvičení v naší institucionální tělesné výchově, navazující na tradice turnerství a následně Sokola. Podle Lewita je pohyb v mantinelech, které jsou nám druhově určeny, v rámci vrozených pohybových programů výhodný. Svaly zde pracují v maximální facilitaci. Tomuto pojetí odpovídá Kabatova diagonální metoda a Vojtova reflexní lokomoce v protikladu ke geometricky přesné souřadnicové soustavě poloh a pohybů podle ortopedických měřítek.

Zevním prostředím je člověk k pohybu motivován a zde nacházíme převažující uplatnění diagonálních vzorů popsaných Kabatem, ale především ve Vojtově vývojové kineziologii. Pohyb je řízen podle místa zátěže pohybového systému. Plasticita kortexu však dokáže měnit pohybová schémata tak, že pozmění vrozený pohybový vzor. Véle zdůrazňuje schopnost člověka pohybovat se mimo vrozená pohybová schémata. Člověk je „specializován na univerzálnost“, je obdařen mezi živočichy nejvyšší mírou pohybové adaptace. Cennou se proto jeví bohatost pohybových stereotypů zejména u sportovců - vícebojařů. Schopnost adaptace prostřednictvím učení umožňuje dosáhnout symetrie a synchronizace pohybu kontralaterálních končetin. Člověk tak výrazně modifikuje pohyb ve srovnání s vrozeným pohybovým vzorem (Kračmar, 2002).



Obr. 6: Zobrazení náhrady puncta fixa při plaveckém způsobu kraul (Kračmar, 2007)

Plavecké způsoby kraul a znak využívají simulace puncta fixa. Charakter pohybu je velmi blízký pohybovým vzorům lidské pohybové ontogeneze. Velmi podobná je práce trupu a paží při způsobu kraul a při „reflexním" plazení podle Vojty. Na obrázku je punctum fixum zvýrazněno. Punctum fixum je při zahájení záběru nalezeno „uchopením vody" a v průběhu záběru se přesouvá na celou záběrovou plochu paže. Je tak částečně nahrazena opora (o výrazně menší ploše) na pevné zemi. Oporná plocha celé záběrové paže dovoluje práci v diagonálním režimu. Zato záběrová plocha akrálních částí dolních končetin je malá a neodpovídá velkým svalovým skupinám trupu, pánve a dolních končetin. Lokomoční působení dolních končetin je proto neefektivní. Jejich funkce je využito pro kompenzaci torze trupu, zajišťujícího lokomoci přes pletenec ramenní.

4.5 *Svalové řetězce v oblasti ramenního pletence*

Véle popisuje pojem funkční řetězec jako dva nebo více svalů, které jsou funkčně vzájemně svázány, mezi které je včleněna volná nebo pohyblivá kost nebo šlašitý útvar a kde směr průběhu svalových vláken je přibližně shodný. Funkční řetězec spojuje několik samostatných hybných segmentů, které mají v tomto funkčním spojení více pohybových možností nežli segmenty samotné. Funkční řetězce mohou působit jak v jednom směru, tak i v protichůdných směrech, takže pak fungují jako otěže, mezi které je „dynamicky" zavěšen kostní segment (Sedliská, 2007).

Svalový řetězec vzniká vzájemnou fyzikální i funkční vazbou několika svalů nebo smyček propojených mezi sebou fasciálními, šlachovými i kostními strukturami do řetězce tvořící samostatný složitý útvar, jehož funkce je programově řízena z CNS. CNS umožňuje sekvenční zapojování jednotlivých článků podle předem programovaného časového rozvrhu (timing), kterým se pohyb svalů koriguje a tím se dosahuje přesnosti pohybu při úspoře energie. Po stránce funkční mohou svaly ve funkčním řetězci pracovat jako funkční synergisté synchronně (v kontrakci) při udržování polohy vřazeného segmentu a nebo mohou pracovat jako funkční antagonisté (reciproční inervace) při změně polohy segmentu (Véle, 2006) Spojení jednoduchých řetězců do složitých komplexů umožňují široké ploché fascie, které mají na hrudníku šikmý směr, takže se kříží a vytvářejí tak funkční spojení např. mezi ramenním pletencem jedné strany a pánevním pletencem strany druhé (Véle, 1997).

Funkci svalových řetězců lze analyzovat klinicky i elektromyograficky. Činnost fyzicky i funkčně zřetězených svalů je nedílnou součástí pohybového chování v běžné denní činnosti (ADL). Soustředění se na jeden sval v řetězci při jeho testování nebo posilování vyčleňuje sval z celkové souvislosti a pohyb odvozený pouze z jeho úponů je zkreslený, protože se nezohledňuje vliv okolních svalů na jeho funkci. Nicméně i takto získaná data testováním funkce jednoho svalu mají značný orientační informační význam (Véle, 2006).

Na přední straně těla probíhá jeden svalový řetězec od fibuly směrem kraniálním přes krátkou hlavu m. biceps femoris – linea aspera – m. adductor longus na symfýzu a odtud břišními svaly na přední stranu hrudníku. K němu se řadí m. iliopsoas, který

spojuje bederní páteř s femurem. Tento řetězec brání překlopení trupu nazad. Na zadní straně těla probíhá podobný svalový řetězec od fibuly kraniálně přes dlouhou hlavu m. biceps femoris k hrbolu kosti sedací a odtud přes ligamentum sacrotuberosum a os sacrum přes lumbodorsální fascii ke svazku zádových svalů. Paralelně s tímto řetězcem probíhá fascia lata, přecházející přes m. glutaeus maximus do lumbodorsální fascie na páteř. Tento zadní systém brání pádu dopředu (Sedliská, 2007).

Na trupu můžeme pozorovat dva velké systémy, které mají zkřížený průběh vláken svalů a fascií. Vzadu je to široký pruh začínající na ramenním pletenci od m. latissimus dorsi na jedné straně a přecházející do lumbodorsální fascie téže strany. Tato fascie přechází přes processus spinosi na páteři na druhou stranu a pokračuje přes fascii m. glutaeus maximus až do fascia lata druhé strany. Na přední straně je podobný útvar vycházející od m. pectoralis major přes hrudník a mm. obligui externi abdominis do střední čáry a odtud jako m.m. obligui interni abdominis na ligamentum inguinale a odtud do fascia lata druhé strany. Oba tyto tahy spojují hrudník s dolními končetinami do jednoho funkčního celku (Véle, 1997).

Po stránce funkční mohou svaly ve funkčním řetězci pracovat jako funkční synergisté synchronně (v kokontrakci) při udržování určité polohy vřazeného segmentu anebo mohou pracovat jako funkční antagonisté (reciproční inervace) při změně polohy segmentu.

Véle potvrzuje, že svaly pracují na základě reciproční inervace pouze do určitého stupně aktivace. Při vyšším úsilí, zejména při udržování určité polohy proti gravitaci, se vedle agonisty aktivuje i antagonista (Véle, 1997).

Jiná možnost je postupná (sekvenční) aktivace řetězců, která probíhá podle stanoveného časového rozvrhu (timing), řízeného programově a korigovaného proprioceptivní zpětnou vazbou. Aktivace segmentů probíhá jako vlna aktivity postupně od jednoho segmentu k druhému (Véle, 1997).

K řetězení funkcí vzniká podle Véleho pravděpodobně na základě předpokladu, že CNS neřídí jednotlivé svaly, ale jednotlivé pohyby. To znamená, že různí lidé za různých okolností mohou k provedení stejného úkonu využít jiné kombinace svalů tak, aby to nejlépe vyhovovalo provedení pohybového záměru, tzn., aby byl pohyb pro organismus co nejekonomičtější.

Svaly podílející se společně na řízení určitého segmentu vytvářejí uzavřené řetězce, tzv. svalové smyčky. Jednotlivé svalové řetězce se sdružují do komplexních funkčně propojených systémů, které řídí skupiny segmentů a integrují tak celou pohybovou soustavu v jeden funkční celek. V důsledku excitace nebo inhibice uvnitř svalové smyčky vzniká nerovnováha ve svalovém napětí, která vede ke změně klidové polohy segmentu dané smyčky. Pro správné technické provedení pohybu je určující výchozí postavení odpovídající pohybovému záměru – atituda, ta následně facilituje svalové skupiny účastnící se provedení zamýšleného pohybového vzoru, přináší automatický proces pohybu vpřed naprogramovaný v CNS. Tato synergistická funkce se nazývá optimálním a ideálním držením těla a je základem pro fyziologickou lokomoci a cílenou motoriku (Sedliská, 2007).

Svalové řetězce v oblasti pletence ramenního podle Véleho

Véle (2006) uvádí způsob propojení mezi **trupem a lopatkou** pomocí svalů. Jedná se o čtyři svalové smyčky, které při pohybu spolupracují. Tím je dosažen koordinačně harmonický pohyb horní končetiny. Tyto smyčky se účastní na pohybu lopatky nebo její fixaci (Véle, 2006).

1. obratle – m. rhomboideus – lopatka – m. serratus anterior – žebra
2. hlava – m. trapezius pars superior – lopatka
   krční páteř – m. levator scapulae – lopatka
   hrudní páteř – m. trapzius pars inferior – lopatka
3. žebra – m.pectoralis minor – lopatka – m. trapezius pars superior – obratle
4. obratle – m. trapezius pars medium – lopatka (Véle, 2006)

Skupinou svalových smyček jsou řetězce svalů mezi **pletencem ramenním a trupem** (Véle, 2006).

1. *spojnice mezi hrudníkem a paží :*
   přední část hrudníku – m. pectoralis major – humerus – m. latissimus dorsi – zadní část hrudníku
2. *spojnice mezi humerem a kontralaterálním kolenním kloubem – jdoucí z přední strany:*

humerus jedné strany – m. latissimus dorsi – fascia thoracolumbalis – páteř – crista iliaca kontralaterální – fascia glutea – m.gluteus maximus – fascia lata – m. tensor fasciae latae – koleno druhé strany

3. *spojnice mezi humerem a kontralaterálním kolenním kloubem – jdoucí ze zadní strany:*
   humerus jedné strany – m. pectoralis major – fascie přední plochy hrudníku – (přes pochvu přímých břišních svalů na druhou stranu) mm. obliquui abdominis – ligamentum inguinale – fascie stehenní – fascia lata – m. tensor fasciae latae – koleno druhé strany
4. *řetězec pro zpevnění ramenního pletence:*
   hrudník – clavicula – m. deltoideus – humerus – m. deltoideus – scapula – svaly lopatkových smyček – hrudník
5. *řetězec otevřený:*
   paže – pletenec ramenní – paže – předloktí
   scapula – m. supraspinatus – humerus – m. biceps brachii – předloktí – scapula – m. coracobrachialis – humerus – m. triceps brachii – předloktí
6. *řetězec uzavřený:*
   paže – pletenec ramenní – paže – předloktí
   scapula – m. deltoideus – humerus – m. brachialis – ulna
   scapula – m. biceps brachii – radius (flexe-supinace)
   scapula – m. triceps brachii – ulna (extenze)
   humerus – m. triceps brachii – ulna (extenze)
   humerus – m. brachiradialis – radius (flexe)

(Véle, 2006).

Svalové řetězce v oblasti pletence ramenního podle Javůrka

Svalové smyčky uváděné Javůrkem (1986) se podobají těm, které uvádí Véle (2006).

Svalové smyčky spojující hrudník a lopatku:

1. m. rhomboideus – m. serratus anterior
2. m. levator scapulae – dolní část m. trapezius
3. m. pectoralis minor – horní část m. trapezius

4. střední část m. trapezius – střední část m. serratus anterior

(Javůrek, 1986)

4.6 Povrchová elektromyografie

Elektromyografie (EMG) je vyšetřovací metoda, která je založena na snímání povrchové nebo intramuskulární svalové aktivity. Povrchovou svalovou aktivitu měříme pomocí povrchové elektromyografie, intramuskulární svalovou aktivitu pomocí jehlové elektromyografie.

Hlavním předmětem měření jsou vzájemné časové vztahy mezi činností několika svalů. Tato metoda je vhodná k hodnocení tzv. svalových vzorců projevujících se při jednotlivých pohybech, např. chůzi, LTV, aj. Umožňuje rozpoznat nesprávné vzorce a přecvičovat je na vzorce správné. Využívá se v rehabilitačním lékařství či sportovní medicíně (Trojan, 2001).

EMG studuje svalovou funkci pomocí analýzy změn elektrického potenciálu, ke kterým dochází při aktivaci svalu. Depolarizace a repolarizace povrchové membrány svalového vlákna je prvotní zdroj změny elektrického potenciálu uvnitř svalu. Depolarizace membrány doprovází pohyb iontů, generující elektrické pole v blízkosti svalového vlákna. EMG signál je výsledkem sledu akčních potenciálů motorických jednotek, které jsou detekovány povrchovou elektrodou v blízkosti kontrahovaných svalových vláken. Akční potenciál prochází při měření povrchového EMG přes přilehlé svalové tkáně, hlavně tuk a kůži, na jejímž povrchu jsou detekovány.

Záznam se označuje jako elektromyogram. Obvykle má podobu více či méně vyjádřeného interferenčního vzorce, který vzniká překrytím sumačních potencionálů většího počtu motorických jednotek dále jen MJ. Nejedná se o prostou sumaci elektrického napětí v daném okamžiku, ale je výsledkem jejich interferencí v prostorovém vodiči – sval, kůže, elektrody (Rodová, 2001).

Při snímání záznamů pomocí povrchových elektrod je potřeba snížit odpor kůže na minimum. Kůže musí být suchá, doporučuje se ji předem odmastit tukovým rozpouštědlem a případně skarifikovat speciální abrazivní pastou (Kadaňka, 1994).

Povrchový EMG záznam nás informuje o průběhu rozdílů napětí na elektrodách umístěných na povrchu kůže, ale neposkytuje žádnou bližší informaci o elektrické aktivitě jednotlivých přilehlých motorických jednotek. Nevýhodou použití povrchové EMG jsou nepřesně definovatelné polohy povrchových elektrod vůči aktivním MJ jednotlivých svalů. Obecně je doporučována vzdálenost elektrod 10 mm ve stopě střední linie svalu v oblasti největšího bříška svalu (De Luca, 1993).

Mezi elektrodu a kůži se aplikuje vodivý gel. Doporučují se miskové elektrody a dobré připevnění elektrod ke kůži (např. leukoplastí či použít samolepící elektrody) (Kadaňka, 1994).

Pro získání kvalitního EMG záznamu je nutné přesné optimální nastavení přístrojů, věrné zesílení průběhu rozdílu potenciálu na elektrodách (bipolární svod), zabránění artefaktům a stanovení vhodných snímacích bodů na svalu. Povrchová EMG je využívána v mnoha vědních oborech: v neurologii, neurofyziologii, fyzioterapii, ortopedii, sportovní medicíně, biomechanice, ergonomii, zoologii a dalších oborech. V biomechanice dominují tři aplikace při používání povrchového EMG: ukazatel zahájení svalové aktivace udává informace o silových přírůstcích vyvolaných jednotlivými svaly nebo skupinou svalů. V oblasti kineziologických studií se povrchové EMG využívá při vyšetřování aktivity jednotlivých svalů, timingu, tzn. aktivace konkrétního svalu v čase. EMG signál umožňuje zjistit, zda je sval aktivní či nikoli, popř. míru svalové aktivity.

Dále slouží k pozorování ko-aktivace svalů v průběhu komplexního i selektovaného pohybu, vliv zátěže na svalovou funkci. Umožňuje zhodnotit průběh terapeutického procesu nebo efektivitu tréninku. Pomocí povrchového EMG lze při vyšetřování komplexních pohybových vzorů sledovat okamžik a rychlost nástupu svalové aktivity vybraných svalů i relativní poměr jejich zapojení. Metodika povrchového měření EMG je uznávána jako vhodný prostředek vyšetření pro kineziologickou analýzu lidského pohybu včetně vyšetření chůze a postury (Rodová, 2001).

5 Metodika práce

5.1 Obecná charakteristika výzkumu

Kineziologický obsah pohybu vybraných svalů horní končetiny a trupu jsme sledovali formou primární analytické případové studie inspirované pilotní případovou studií (Kračmar, 2006). Předmětem porovnání byla fáze jednoho plaveckého kroku volným způsobem s jedním záběre stejné horní končetiny na plaveckém trenažéru a stejným záběrem při použití gumového expanderu. Podstatou analýzy bylo sledování elektrické aktivity vybraných svalů ramenního pletence a trupu při plaveckém kroku volným způsobem pomocí EMG analýzy, analýzy kinematické a následné porovnání stejného kroku při použití plaveckého trenažéru a gumového expanderu.. K analýze bylo použito porovnání timingu nástupu a odeznění aktivací vybraných svalů horní končetiny a trupu ve spojitosti se synchronizovaně přiřazenými pozicemi probanda, posouzení charakteru EMG křivky ve smyslu výskytu lokálních maxim, posouzením střední hodnoty plochy pod EMG křivkou jednoho krokového cyklu a vzájemné porovnání korelační matice křivek EMG mezi jednotlivými sledovanými svaly.

Při snímání EMG byl současně pořízen i videozáznam. Zaznamenaná data byla převedena do počítače a upravena speciálním počítačovým programem KAZE5. Výzkum probíhal ve spolupráci s katedrou sportů v přírodě FTVS UK.

Práce zkoumá míru koordinační podobnosti cílového pohybu, tj. plaveckého kroku s napodobivým a posilovacím cvičením - tréninku na plaveckém trenažéru a expandéru. Výzkum se pokusí odhalit koordinační vazby posilovacího cvičení vzhledem k jednotlivým uzlovým bodům, resp. fázím plaveckého kroku.

Rozhodující metodou výzkumu bude povrchová EMG analýza synchronizovaná s videozáznamem. Výzkum je koncipován jako terénní, bez omezení laboratorními podmínkami. Kvantitativní srovnání získaných dat je postaveno na analýze časových řad, stanovení timingu lokálních maxim sledovaných svalů, crosskorelaci, určující především časové vazby mezi sledovanými svaly, autokorelaci, popisující stabilitu pohybového stereotypu, dále na porovnání ploch pod EMG křivkou jednotlivých kroků

a především na stanovení míry podobnosti průběhu EMG křivky vyjádřené koeficientem determinace, poukazujícím na míru podobnosti aktivace svalu v čase.

Na základě zjištěných údajů bude možné vyslovit závěr o doporučení využití tohoto tréninkového prostředku pro zdokonalení techniky plavání technikou kraul a pro zařazení těchto cvičení do rekreačního a postrehabilitačního pohybového režimu.

5.2 Omezení metody EMG

Elektromyografie je metodou používající se k objektivizaci svalových funkcí, názory na ni jsou však mnohdy sporné. „Primárně je nutné se smířit s faktem, že neměříme svalovou sílu. Neměříme práci svalu. Ale měříme elektrický potenciál, který jako fenomén existuje při svalové aktivaci a který tuto aktivaci nejvěrněji ilustruje na topicky přesně vymezeném místě svalu živého organismu. Z elektrického potenciálu usuzujeme na aktivitu motorické jednotky a z té na práci svalu " (Kračmar, 2006).

Je rovněž důležité si uvědomit:

1. Výsledky měření na jedné osobě nelze použít ke zobecnění výsledků. Mezi jednotlivými opakováními měření bychom se měli vyvarovat velkých časových odstupů. Elektrody by po celou dobu měření měly být na stejném předem stanoveném místě bez jeho změny. Měření na jedné osobě by měla probíhat nejlépe v jeden den, ve stejných podmínkách.
2. Vybraný proband by měl mít pevně fixovaný hybný stereotyp, který se chystáme zkoumat. Tento stereotyp je nejlépe fixován dlouhodobým provozováním aktivity, ve které je prováděn.
3. Zapojení velkého počtu motorických jednotek způsobuje vzájemnou interferenci signálu, která deformuje křivku. Přibližně od zapojení 50% motorických jednotek nestoupá křivka dále lineárně, není možné poměrné posouzení svalové práce. Můžeme však konstatovat, jestli se svalová práce u jednoho svalu zvětšila nebo zmenšila mezi dvěmi různými činnostmi (Kračmar, 2006).
4. Důležitými faktory pro měření EMG potenciálu jsou rozdílná vodivost kůže na různých místech těla, odlišná síla podkožního tuku, různá velikost motorických

jednotek. Pro tyto faktory není možné poměrné posouzení svalové práce mezi jednotlivými měřenými svaly.

5. Lokalizace elektrod je možná pouze do jednoho určitého místa svalu. Popisujeme-li aktivaci svalu, popisujeme vlastně aktivaci pouze místa svalu, kde jsou lokalizovány elektrody. Předpokládáme-li zřetězení svalových funkcí, pak při změně úhlu v kloubu se může posunout řetězec největšího zatížení v samotném svalu a znehodnotit tak výsledky měření. Východiskem je expertní vyhledání místa největší svalové kontrakce pro lokalizaci elektrod. Je samozřejmě nutné simulovat pohyb co nejvěrněji – tvar pohybu i charakteristika práce svalů ve smyslu kontrakce koncentrická vs. excentrická (Kračmar, 2006).

5.3 Charakteristika sledovaného probanda

Pro případovou studii jsme zvolili 1 probanda, který byl zdravý jedinec. Proband se již 15 let závodně věnuje plavání a triatlonu na vrcholové úrovni. Byl vybrán na základě jeho dlouholetých vlastních sportovních zkušeností a z toho plynoucí dobře zvládnuté techniky plaveckého stylu kraul. Zpracování a prezentace výsledků probíhala anonymně.

5.4 Charakteristika použitých metod a přístrojů

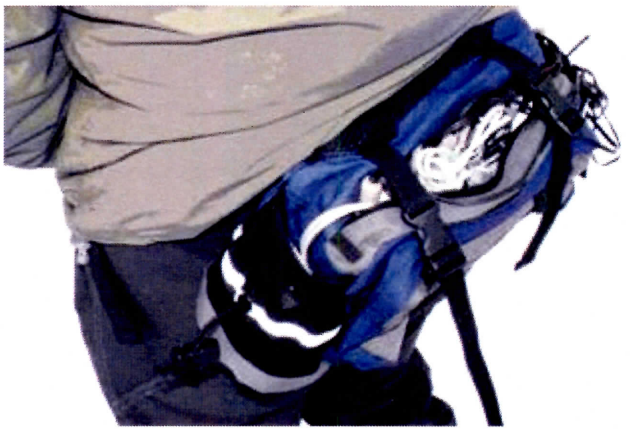
Provedli jsme povrchové měření EMG u svalových skupin zajišťujících pohyb ramenního pletence při plaveckém záběru volným způsobem a při použití podobných posilovacích cvičení a doplnili jsme je o jednoduchou kinematickou analýzu pomocí časové analýzy videozáznamu. U zvoleného probanda jsme naměřili 4 sekvence 20 vteřin plaveckých záběrů volnou technikou, 4 sekvence 20 vteřin záběru stejné paže na plaveckém trenažéru a 4 sekvence 20 vteřin záběru při použití gumového expanderu. Všechna tři měření byla použita na pravý pletenec ramenní.

Časování pohybu jsme provedli na základě analýzy plaveckého kroku:

1. fáze přípravná
2. fáze záběrová
3. fáze vytažení a přenosu

5.4.1 Mobilní přístroj EMG

V experimentu bylo pro snímání elektrické aktivity svalů použito přenosného EMG zařízení KaZe05, které bylo vyvinuto na FTVS UK v Praze. Tento přístroj disponuje 7 kanály pro přenos EMG potenciálů ze svalů a osmým kanálem pro synchronizaci EMG záznamu s videokamerou. Proband byl monitorován při plavecké stylu kraul, podobným pohybem na plaveckém trenažéru a při použití gumového expanderu. Následně jsme se zaměřili na aktivitu svalů v průběhu jednoho krokového cyklu.



Obr. 7: Přenosné EMG zařízení KaZe05 (Sedliská, 2007)

Technická specifikace:

Výrobce a autor: Karel Zelenka, UK FTVS v Praze

Charakteristika: nezávislý polyelektromyografický mobilní přístroj pro snímání elektrického potenciálu svalů

Počet měřících kanálů: 8 (7 kanálů pro EMG měření potenciálů svalových skupin,

1 kanál pro synchronizaci s videozáznamem)

Vzorkování: 200Hz

Frekvence: 30 – 1200 Hz při 3dB/kanál

Stupeň citlivosti: nastavitelný v rozmezí 6 – 0,05 mV

5.4.2 Videokamera

Technická specifikace:

Typ: digitální videokamera CANON HDV 1080i SONY s podvodním krytem do 5 m hloubky

Rozlišení: 3,1 megapixely
frekvence snímání obrázků: 50 obr/sec.

5.4.3 Plavecký trenažér

Technická specifikace:

Název: Biokinetik-Ergonometr

Výrobce: Biokinetic Fitness laboratories .inc, USA

Charakteristika: plavecký trenažér s digitálním měřičem v jednotkách kilopond (kp), 1 kp = 9,8065 N.

Zátěž: odpor pomocí stejnosměrného dynama, 9bodová stupnice, rozmezí 20 – 600W.

5.4.4 Gumový expander

Technická specifikace:

Název: Posilovací - expander

Výrobce : Ippon, Czech Republic

Délka: 2,5 m

Obr. 8: Gumový expander

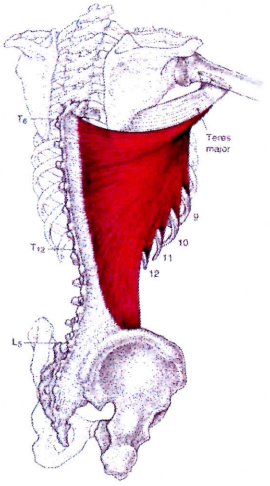
5.5 *Sledované svaly*

Svaly, jejichž činnosti jsme sledovali a měřili byly vybrány na základě jejich funkce, jak je uvádí Čihák (2001), Janda (2004), Javůrek (1986) a Véle (2006). Byly sledovány svaly pravého ramenního pletence.

Skupinu sledovaných svalů tvořily tyto svaly:

1. m. latissimus dorsi.
2. m. pectoralis major
3. m. infraspinatus
4. m. trapezius transcendens et ascendens
5. m. trapezius descendens
6. m. serratus anterior,
7. m. obliquus externus abdominis

Funkce měřených svalových skupin



M. latissimus dorsi

Začátek svalu: prostřednictvím aponeurosy (fascia thoracolumbalis) od dorsální části crista iliaca, dorsální plochy kosti křížové, trnů bederních obratlů, tří kaudálních žeber, trnů pěti až šesti kaudálních hrudních obratlů, několika snopci od povrchové fascie m. teres major

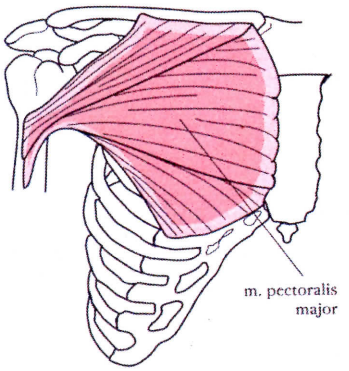
Úpon svalu: na humerus (překrývá dolní úhel lopatky), na crista tuberculi minoris

Obr. 9: M. latissimus dorsi (Travell, Simons, 1999)

Funkce: addukce a vnitřní rotace humeru; dorsální flexe humeru v kloubu ramenním (ve spolupráci s m. teres major a se spinální částí m. deltoideus); při fixované paži zdvihá

žebra (pomocný vdechový sval); vnější okraj svalu pomáhá více zakřivit hrudní páteř a tím zmenšit hrudník při prudkém výdechu (Čihák, 2001).

M. pectoralis major

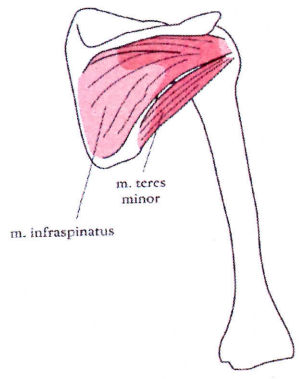


Začátek svalu: Mediální část klíční kosti, sternum a přilehlé části prvních šesti žeber, přední část 6. žebra a pochva přímého svalu břišního. Na svalu se podle začátku obvykle podle začátků obvykle rozlišuje: pars clavicularis, pars sternococstalis a pars abdominalis.
Úpon svalu: Crista tuberculi majoris humeri.

Obr. 10: M. pectoralis major (Gross, 2005)

Funkce: Funkce se liší podle jednotlivých složek svalu: klavikulární část pomáhá při předpažení a udržuje v něm paži; sternokostální a abdominální části addukují paži a rotují ze zevní rotace navnitř.
Inervace: Nn. pectorales, lateralis et medialis, z pars supraclavicularis plexus brachialis (Čihák, 2001).

M. infraspinatus



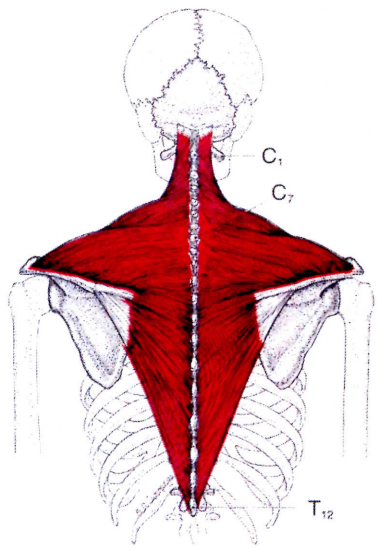
Začátek svalu: Fossa infraspinata a tuhá povrchová fascie svalu.
Úpon svalu: Po zadní straně ramenního kloubu na tuberculum majus humeri (na jeho střední fasetu). Šlacha zesiluje pouzdro ramenního kloubu vzadu. Mezi šlachou a kloubním pouzdrem ramenního kloubu bývá bursa subtendinea musculi infraspinati.

Obr. 11: M. infraspinatus (Gross, 2005)

Funkce: Zevní rotace v ramenním kloubu.

Inervace: N. suprascapularis; kořenová inervace z C5 a C6. (Čihák, 2001).

M. trapezius



Začátek svalu: protuberantia occipitalis externa, linea nuchalis superior, popřípadě až linea nuchalis suprema, lig. nuchae a trnové výběžky krčních a hrudních obratlů až po trn Th12 včetně.

Úpon svalu: je v jednotlivých úsecích svalu odlišný: kraniální sestupné snopce se upínají na zevní konec klavikuly, na akromion a na spina scapulae; střední příčné snopce se upínají na spina scapulae; kaudální vzestupné snopce se upínají zdola na spina scapulae, od vnitřního okraje až po tuberculum deltoideum.

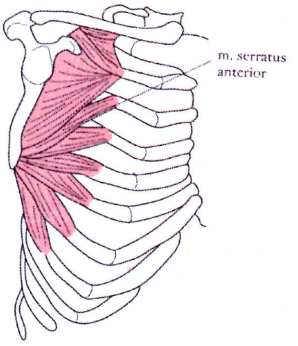
Obr. 12: M. trapezius (Travell, 1999)

Funkce:

1. Sval fixuje a stabilizuje lopatku.
2. Kraniální snopce zdvihají rameno, kaudální snopce táhnou lopatku dolů. Celý sval přitahuje lopatku k páteři (ramena dozadu).
3. Protože sestupné snopce dosahují dále laterálně než snopce vzestupné, vytáčí současná akce obou těchto částí lopatku dolním úhlem zevně – kloubní jamku vzhůru (synergista m. serratus anterior). Tím se sval účastní zdvižení paže nad horizontálu.

Inervace: N. accessorius a k němu připojená vlákna z C3 a C4 (Čihák, 2001).

M. serratus anterior



Začátek svalu: Devět zubů na 1. až 9. žebru; pět dolních zubů se po straně hrudníku střídá se začátky m. obliquus externus abdominis.

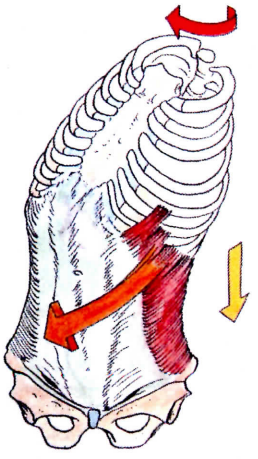
Úpon svalu: Mediální okraj lopatky; snopce od 4.žebra a dalších žeber se sbíhají až na angulus inferior scapulae.

Obr. 13: M. infraspinatus (Gross, 2005)

Funkce: Přidržuje lopatku k hrudníku (při obrně svalu lopatka křídlovitě odstává) a současně táhne za mediální okraj a zejména dolní úhel vytáčí dolní úhel lopatky zevně. Lopatka tak svými pohyby doplňuje pohyby ramenního kloubu. Vytočení dolního úhlu lopatky zevně je podmínkou pro abdukci paže nad horizontálu

Inervace: N. thoracicus longus (z pars supraclavicularis plexus brachialis); kořenová inervace z C5-C7. (Čihák, 2001)

M. obliquus externus abdominis



Začátek svalu: Osm zubů na osmi kaudálních žebrech.

Úpon svalu:

a) Zadní a kaudální snopce na labium externum cristae iliacae.

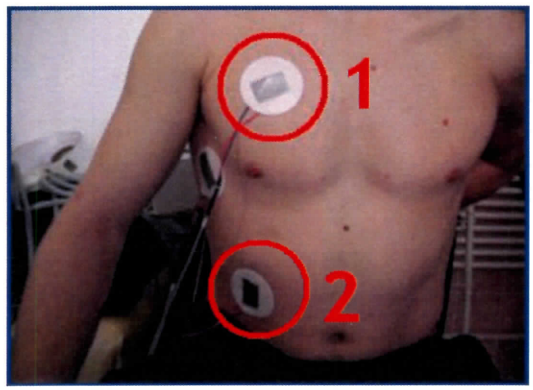
b) Ostatní snopce přecházejí zevně od m. rectus abdominis v aponeurosis musculi obliqui externi, která tvoří povrch předního listu pochvy přímého svalu a upíná se do linea alba. Dolní okraj aponeurosy je zesílen, napjat od spina iliaca anterior superior k tuberculum pubicum; nazývá se ligamentum inguinale.

Obr. 14: M. obliquus externus abdominis (Čihák, 2001)

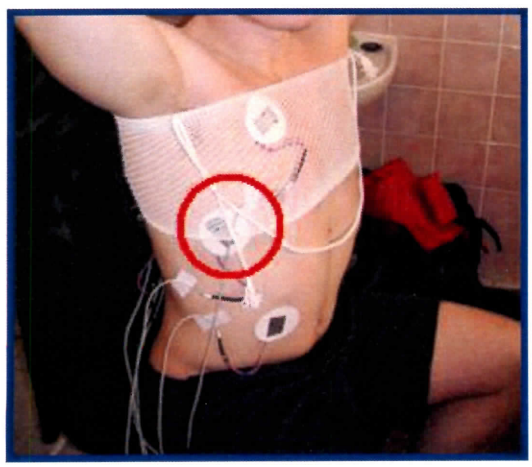
Funkce: 1. při oboustranné kontrakci je tento sval synergista m. rectus abdominis, 2. při jednostranné kontrakci uklání páteř na stranu kontahovaného svalu a rotuje páteř s hrudníkem na stranu protilehlou, 3. účastní se břišního lisu.
Invervace: 5. – 11. interkostální nerv a n. subcostalis (Th12). (Čihák, 2001).

5.6 Lokalizace elektrod

Na následujících obrázcích je vyznačena lokalizace elektrod pro snímání EMG potenciálů ze sledovaných svalů.

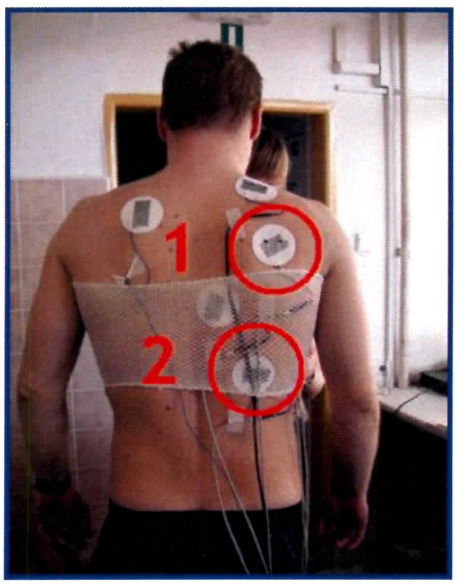


Obr. 15: Umístění elektrod: 1- m. pectoralis major; 2-m. obliquus externus abdominis



Obr. 16: Umístění elektrody na m. serratus anterior

Obr. 17: Umístění elektrod: 1-m. trapezius descendens; 2-m. trapezius transcendens et ascendens



Obr. 18: Umístění elektrod: 1-m. infraspinatus; 2-m. lattisimus dorsi

5.7 Popis techniky měření

Měření probíhalo následujícím způsobem: nejprve se stanovila nejvhodnější místa na těle probanda pro aplikaci povrchových elektrod pomocí fyzioterapeutických vyšetřovacích postupů (svalový test dle Jandy, simulace požadovaného pohybu a současná palpace svalů). Následně byly umístěny elektrody na označená místa, provedla se kalibrace stroje, provedlo se několik testů za účelem získání reliability výsledků měření a poté následovalo vlastní měření. Celkové časové rozmezí měření probanda bylo přibližně 3,5 hodiny.

Výběr pohybu pro měření

Pro měření byl vybrán plavecký styl kraul ve vodním prostředí, stejný pohyb měřenou horní končetinou prováděný na plaveckém trenažéru a při použití gumového expanderu.

Popis místa měření:

Měření se odehrávalo v prostoru plaveckého bazénu v areálu ČZU, při vnitřní teplotě 28° C a teplotě vody 25° C.

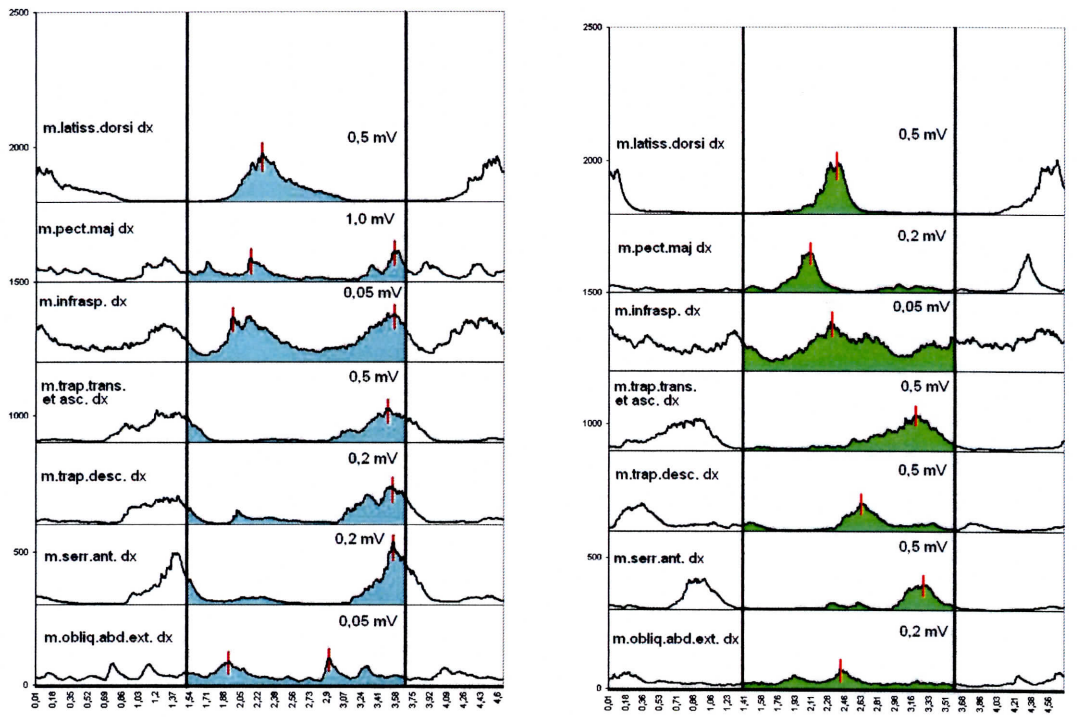
5.8 Způsob vyhodnocení a interpretace dat

Zpracování a porovnání dat bylo provedeno metodami:

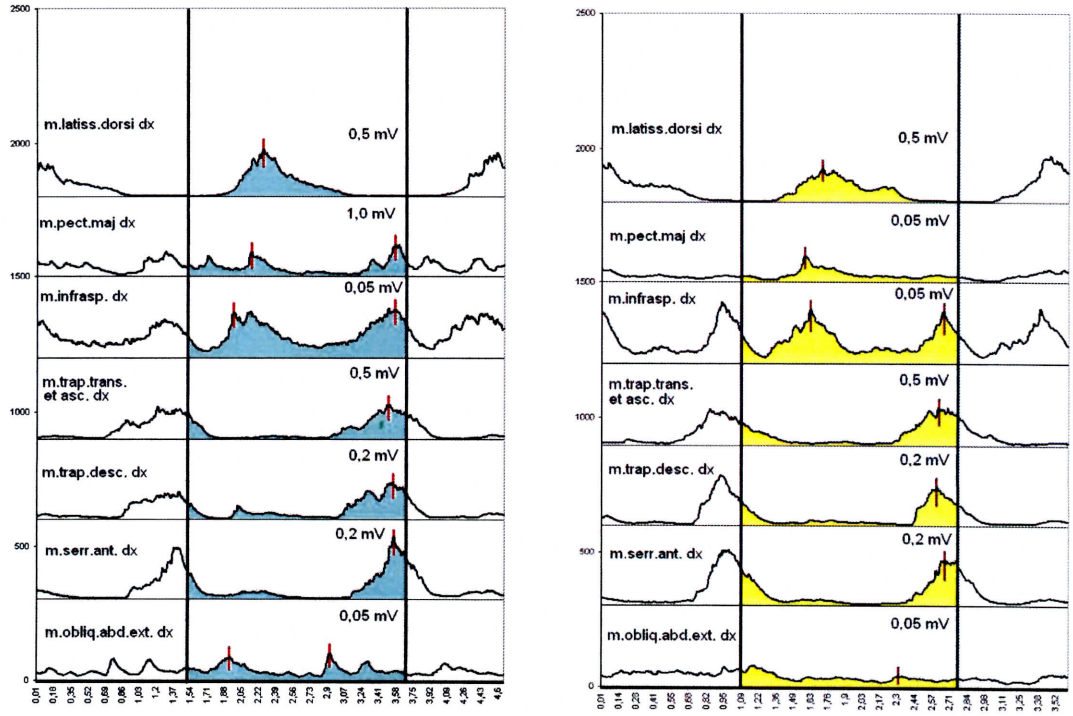
- Bylo stanoveno pořadí lokálních maxim sledovaných svalů v rámci krokového cyklu.
- Pro charakteristiku vykonané práce svalu byly stanoveny střední hodnoty plochy pod EMG křivkou v rámci krokových cyklů.
- Pro vzájemné porovnání křivek EMG aktivity sledovaných svalů v rámci jednoho krokového cyklu byly sjednoceny časové osy.
- Vzájemné porovnání korelačních matic křivek EMG mezi jednotlivými sledovanými svaly.

– Diferencované pozice klíčových míst pohybu získaných z videozáznamu byly přiřazeny k odpovídajícím místům v EMG grafech. Pro intraindividuální porovnání EMG grafů byly záznamy převedeny na společnou citlivost snímacích kanálů (v případě nutnosti změny jejich citlivosti mezi měřeními pro dosažení náboru kvalitních EMG křivek).

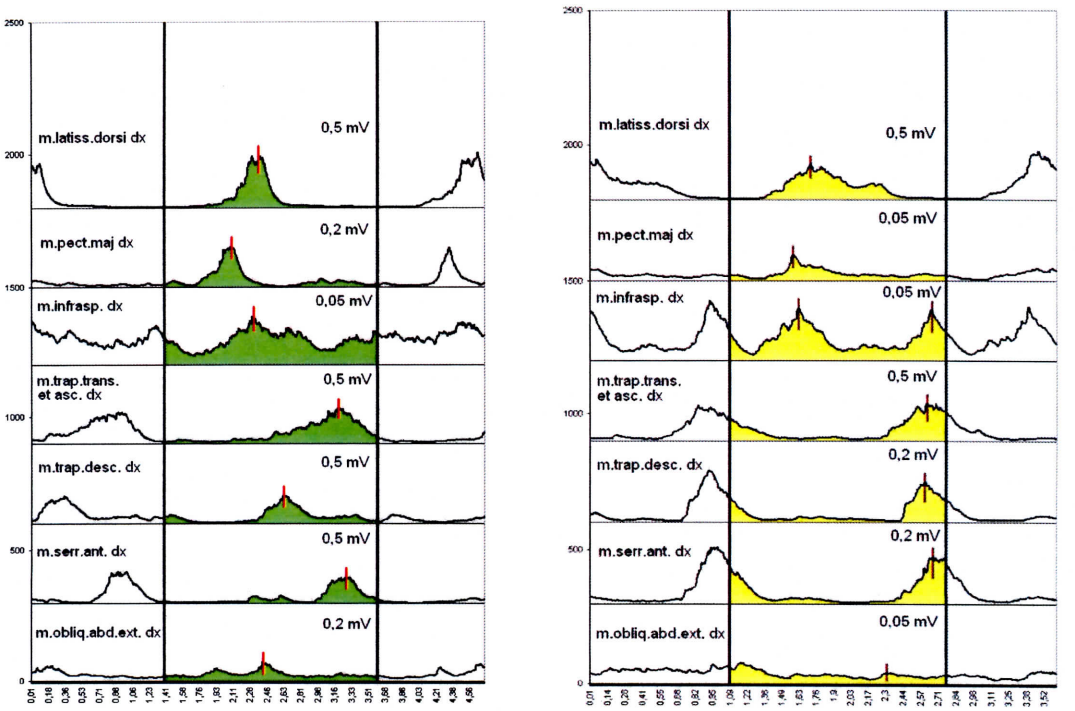
6. Výsledky práce



Obr. 19: Intraindividuální porovnání ploch pod EMG křivkou v rámci jednoho krokového cyklu při použití plaveckého trenažeru (modře) a ve vodním prostředí (zeleně). V grafech jsou uvedeny i pozice lokálních maxim EMG křivky v rámci sledovaného kroku.



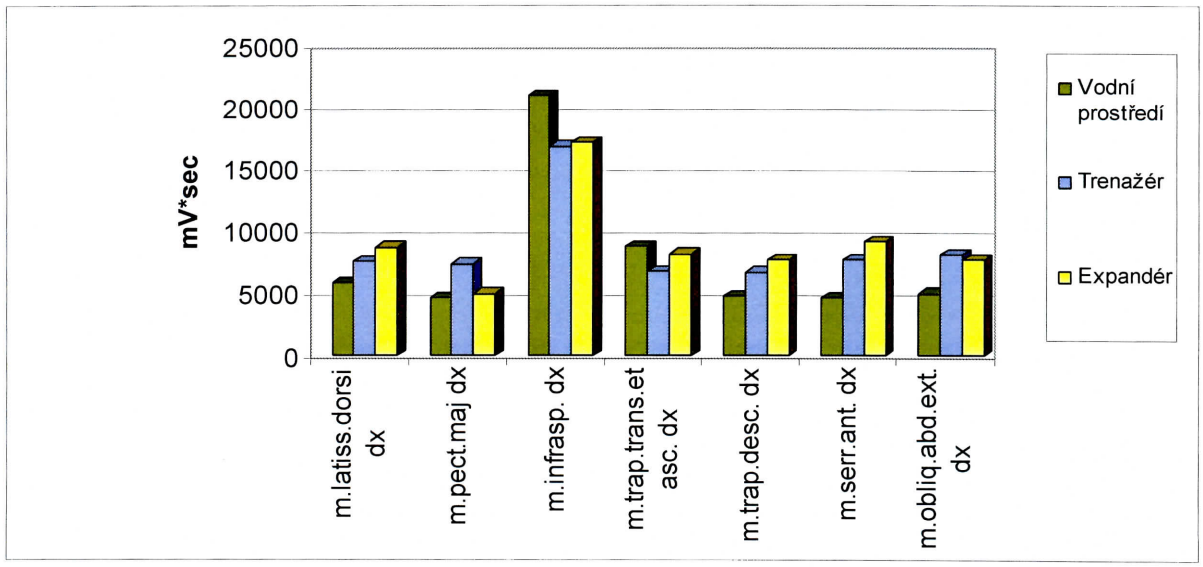
Obr. 20: Intraindividuální porovnání ploch pod EMG křivkou v rámci jednoho krokového cyklu při použití plaveckého trenažeru (modře) a gumového expanderu (žlutě). V grafech jsou uvedeny i pozice lokálních maxim EMG křivky v rámci sledovaného kroku.



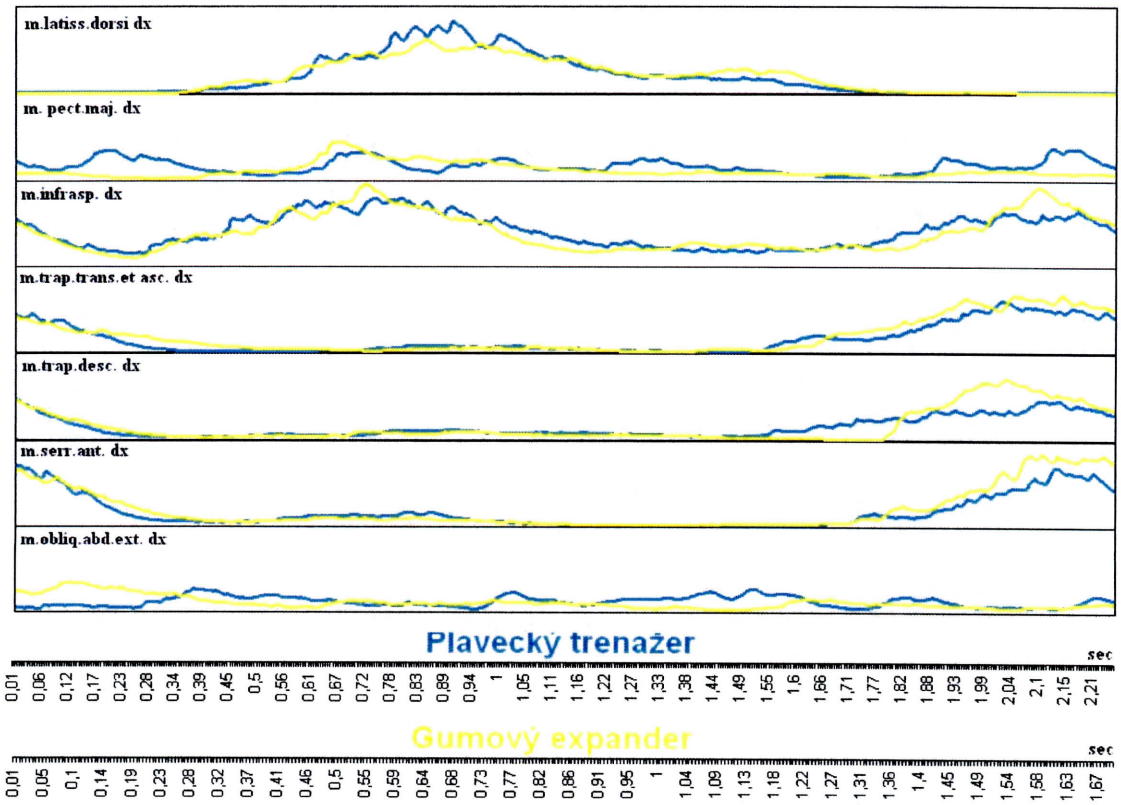
Obr. 21: Intraindividuální porovnání ploch pod EMG křivkou v rámci jednoho krokového cyklu ve vodním prostředí (zeleně) a při použití gumového expanderu (žlutě). V grafech jsou uvedeny i pozice lokálních maxim EMG křivky v rámci sledovaného kroku.

Tab. 1: Pořadí pozic lokálních maxim EMG křivky v rámci sledovaných krokových cyklů

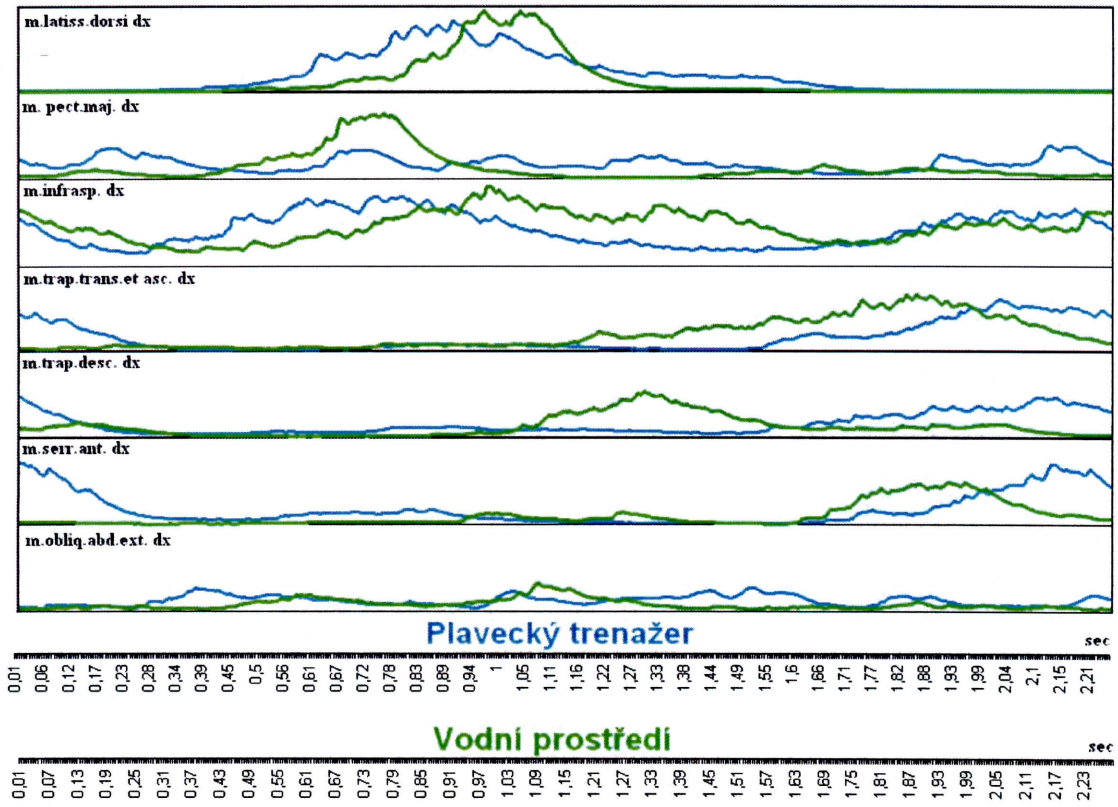
Sval	**Bazén**	**Trenažér**	**Expander**
m.latissimus dorsi dx	2,3	4	3
m.pectoralis major dx	1	3; druhý peak 6 až 9	1
m.infraspinatus dx	2,3	1,2; druhý peak 6 až 9	2; druhý peak 5 až 8
m.trapezius ascendens et transversa dx	6,7	6 až 9	5 až 8
m.trapezius descendens dx	5	6 až 9	5 až 8
m.serratus anterior dx	6,7	6 až 9	5 až 8
m.obliquus abdominis externus dx	4	1,2; druhý peak 5	4



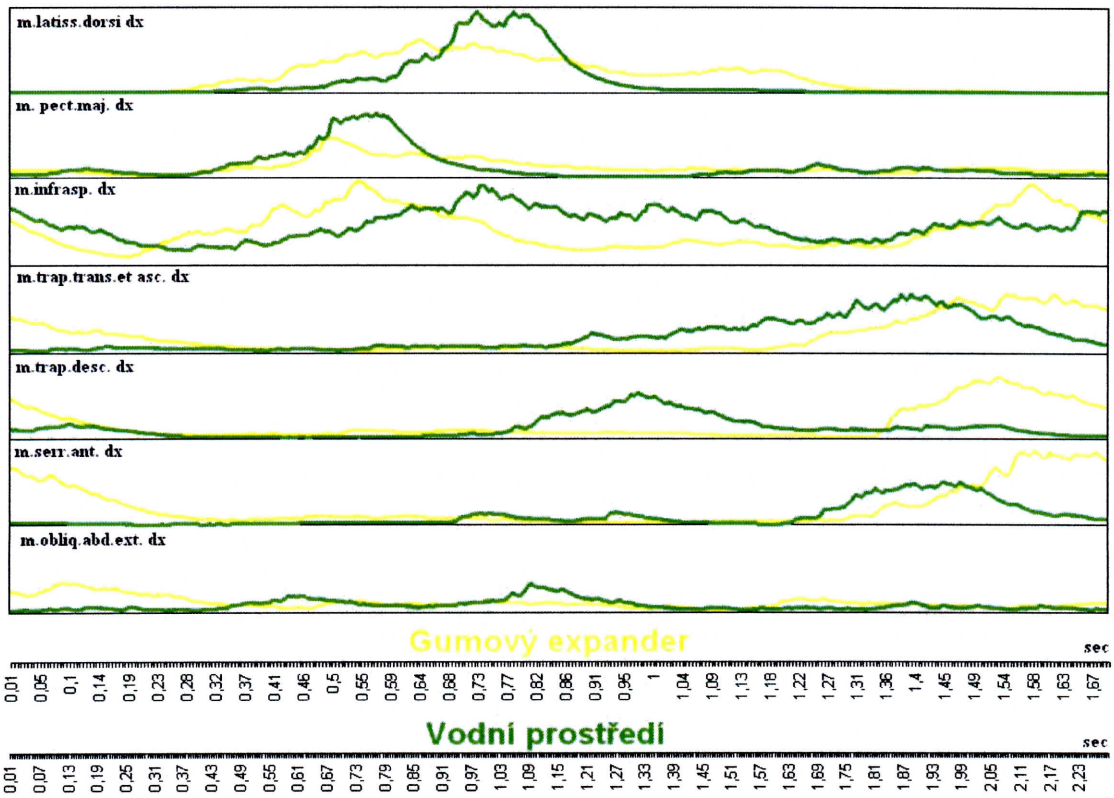
Obr. 22: Střední hodnoty plochy pod EMG křivkou na jeden krokový cyklus.
Z důvodu jinak dlouhé periody krokového cyklu byly střední hodnoty plochy pod EMG křivkou jednoho krokového cyklu vypočítány za 1 sekundu. Délka jednotlivých period: vodní prostředí - 2,23; trenažér 2,21; expandér 1,67 s



Obr. 23: Intraindividuální srovnání zapojení vybraných svalů v průběhu 1 krokového cyklu. Prostředí: plavecký trenažer – gumový expander



Obr. 24: Intraindividuální srovnání zapojení vybraných svalů v průběhu 1 krokového cyklu. Prostředí: plavecký trenažer – vodní prostředí



Obr. 25: Intraindividuální srovnání zapojení vybraných svalů v průběhu 1 krokového cyklu. Prostředí: gumový expander – vodní prostředí

Hodnoty korelační matice křivek EMG:

0,1 – 0,7 – významně vysoká míra korelace

0,7 – 0,3 – středně vysoká míra korelace

0,3 – 0 – nevýznamná míra korelace

Záporné hodnoty uvedené v tabulce vyznačují práci svalů proti sobě.

Tab. 2: Korelační matice křivek EMG mezi jednotlivými sledovanými svaly – vodní prostředí

	m.latiss. dorsi dx	m.pect. maj dx	m.infrasp. dx	m.trap.trans. et asc. dx	m.trap. desc. dx	m.serr. ant. dx	m.obliq. abd.ext. dx
m.latiss.dorsi dx	1	0,276	**0,513**	-0,283	-0,036	-0,189	**0,532**
m.pect.maj dx		1	0,209	-0,206	-0,259	-0,157	0,160
m.infrasp. dx			1	-0,030	**0,326**	-0,160	**0,491**
m.trap.trans.et asc. dx				1	0,246	**0,681**	0,121
m.trap.desc. dx					1	0,004	**0,313**
m.serr.ant. dx						1	-0,009
m.obliq.abd.ext. dx							1

Z tabulky č. 2 je patrná:

- středně vysoká korelace dvojic svalů:

m. latissimus dorsi dx – m. infraspinatus dx

m. latissimus dorsi dx – m. obliquus abdominis externus dx

m. infraspinatus dx – m. trapezius descendens dx

m. infraspinatus – m. obliquus abdominis externus dx

m. trapezius descendens dx - m. obliquus abdominis externus dx

m. trapezius ascendens et transversa dx – m. serratus anterior dx

Dále jsou již v tab. 2 pouze hodnoty ukazující na nevýznamnou míru korelace.

Tab. 3: Korelační matice EMG mezi jednotlivými sledovanými svaly – plavecký trenažer

	m.latiss. dorsi dx	m.pect. maj dx	m.infrasp. dx	m.trap.trans. et asc. dx	m.trap. desc. dx	m.serr. ant. dx	m.obliq. abd.ext. dx
m.latiss.dorsi dx	1	0,218	**0,408**	-0,477	-0,365	-0,316	-0,171
m.pect.maj dx		1	**0,559**	**0,320**	0,289	**0,483**	-0,026
m.infrasp. dx			1	0,252	**0,358**	**0,439**	-0,013
m.trap.trans.et asc. dx				1	**0,898**	**0,866**	0,023
m.trap.desc. dx					1	**0,822**	-0,023
m.serr.ant. dx						1	-0,044
m.obliq.abd.ext. dx							1

Z tabulky č. 3 je patrná:

- středně vysoká korelace dvojic svalů:

m. latissimus dorsi dx – m. infraspinatus dx

m. pectoralis major dx – m. infrapinatus dx

m. pectoralis major dx – m. trapezius ascendens et transversa dx

m. pectoralis major dx – m. serratus anterior dx

m. infraspinatus dx – m. trapezius descendens dx

m. infraspinatus dx - m. serratus anterior

- významně vysoká korelace dvojic svalů:

m. trapezius ascendens et transversa dx - m. trapezius descendens dx

m. trapezius ascendens et transversa dx – m. serratus anterior dx

m. trapezius descendens dx – m. serratus anterior dx

Tab. 4 Korelační matice křivek EMG mezi jednotlivými sledovanými svaly – gumový expander

	m.latiss. dorsi dx	m.pect. maj dx	m.infrasp. dx	m.trap.trans. et asc. dx	m.trap. desc. dx	m.serr. ant. dx	m.obliq. abd.ext. dx
m.latiss.dorsi dx	1	**0,491**	**0,304**	-0,655	-0,353	-0,471	0,030
m.pect.maj dx		1	**0,472**	-0,303	-0,117	-0,139	-0,195
m.infrasp. dx			1	0,275	**0,479**	**0,474**	-0,025
m.trap.trans.et asc. dx				1	**0,836**	**0,864**	0,098
m.trap.desc. dx					1	**0,828**	0,093
m.serr.ant. dx						1	0,123
m.obliq.abd.ext. dx							1

Z tabulky č. 4 je patrná:

- středně vysoká korelace dvojic svalů:

m. latissimus dorsi dx – m. pectoralis major dx

m. latissimus dorsi dx – m. infraspinatus dx

m. pectoralis major dx – m. infrapinatus dx

m. infraspinatus dx – m. trapezius descendens dx

m. infraspinatus dx - m. serratus anterior

- významně vysoká korelace dvojic svalů:

m. trapezius ascendens et transversa dx - m. trapezius descendens dx

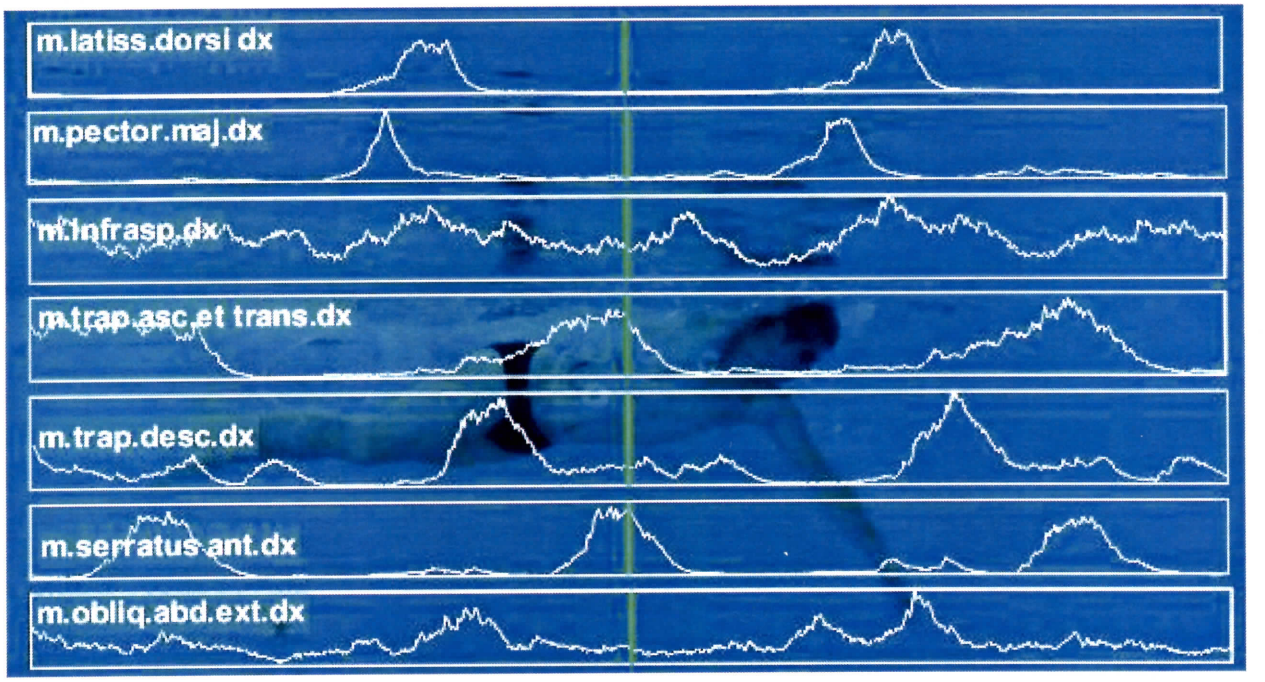
m. trapezius ascendens et transversa dx – m. serratus anterior dx

m. trapezius descendens dx – m. serratus anterior dx

7. Diskuse

Rozbor plaveckého kroku pomocí kinematické analýzy:

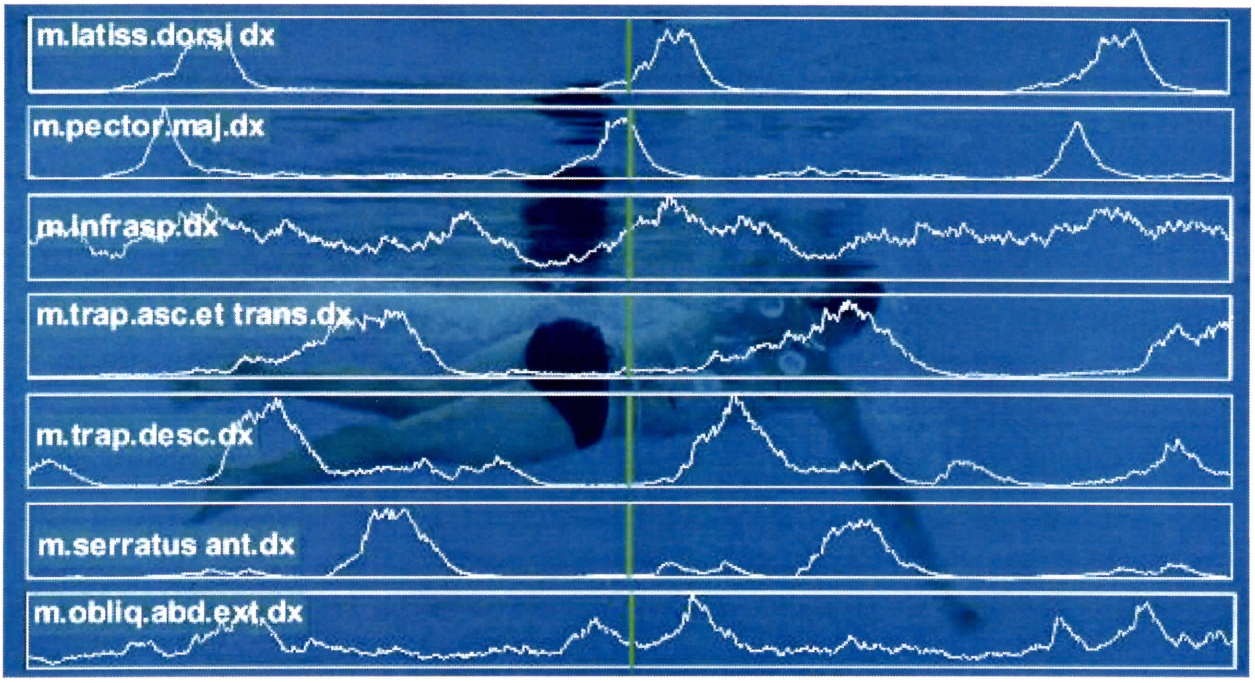
a) ve vodním prostředí



Obr. 26: Vyznačení max. peaku m. serratus anterior dx, m. trapezius ascendens et. transversa dx

M. serratus anterior při záběru posouvá ramenní pletenec směrem ventrálním a kraniálním při fázi vytažení a přenosu (viz kapitola 5.2.1). Při správné technice plaveckého způsobu kraul je do plaveckého kroku m. serratus anterior zapojen a pomáhá tak ke zvýšení efektivity a délky záběrové fáze tím, že posouvá ramenní pletenec více kraniálně, na jejímž konci plavec „sahá" pro vodu. U neplavců toto tzv. „sáhnutí" pro vodu chybí.

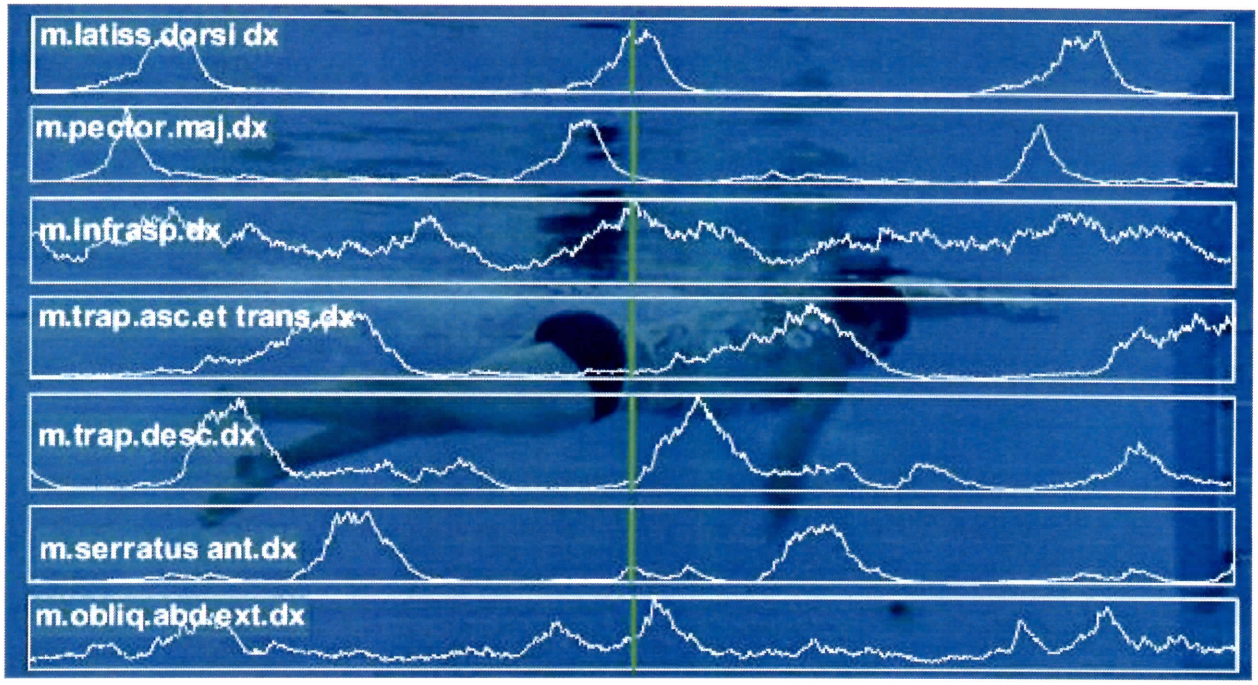
M. serratus anterior je zapojován společně s m. trapezius ascendens et. transversa dx. Tyto dva svaly tvoří smyčku dle Véleho (viz kapitola 5.5). M. trapezius ascendens et. transversa dx zahájí svou aktivitu těsně před m. serratus anterior, neboť při správné technice plaveckého způsobu kraul je nutné nejdříve addukce lopatky, díky níž je zahájena fáze přenosu horní končetiny nad hladinu.



Obr. 27: Vyznačení max. peaku m. pectoralis major dx

Hlavními funkcemi m. pectoralis major jako celku je addukce v horizontále a vnitřní rotace paže (Janda, 2004) . Je zapojován ve II. diagonále extenčního vzorce pro horní končetinu, jejíž provedení pohybu je téměř shodné s počáteční fází esovitého záběru plaveckého způsobu kraul pod vodní hladinou (viz kapitola 5.2.1).

Hlavní funkce svalu - abdukce paže v této fázi plaveckého kroku souvisí zřejmě s antigravitačním působením svalu m. pectoralis major při jiných formách lokomoce, realizovaných prostřednictvím pletence ramenního. Je možné, že se zde promítá všeobecný model pohybového programu, i když chybí pevná podložka pro oporu a akrální část není opřena o podložku, ale „pouštěna" vodním prostředím níže od hladiny.



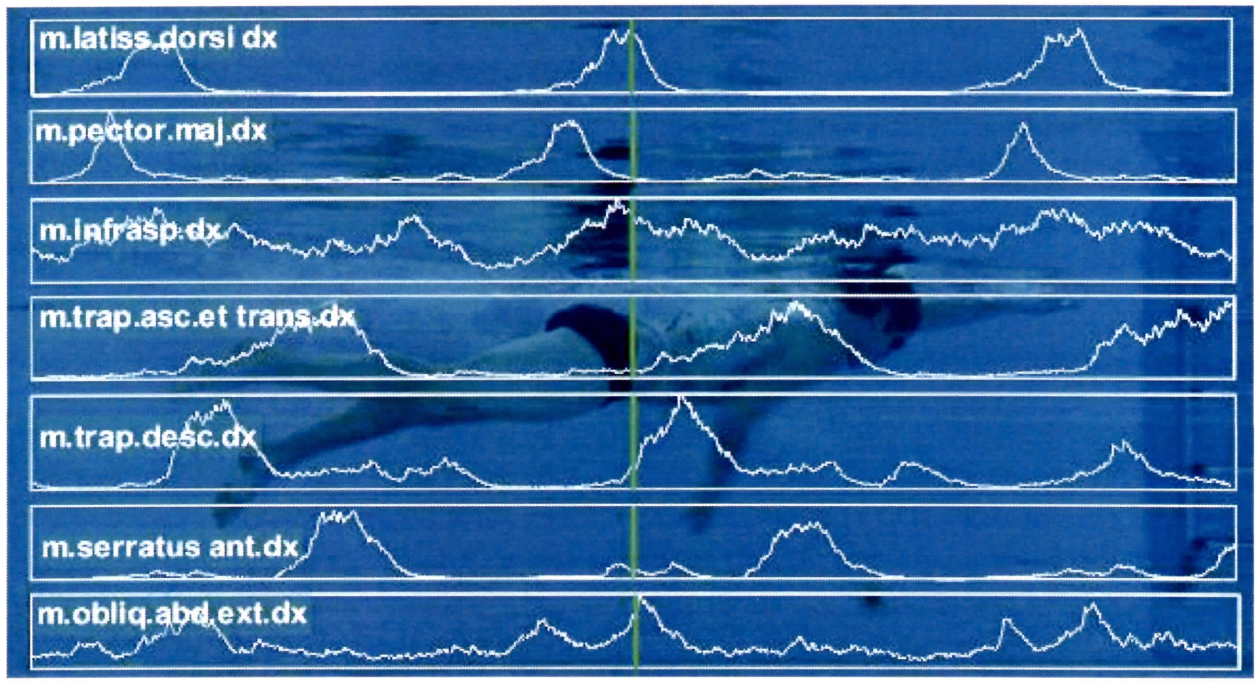
Obr. 28: Vyznačení max. peaku m. latissimus dorsi dx (1. vrchol), m. infraspinatus dx

M. latissimus dorsi dx se při jednom plaveckém kroku aktivuje v maximální míře dvakrát v těsné blízkosti za sebou. M. infraspinatus je zevním rotátorem ramenního kloubu, m. latissimus dorsi provádí addukci, vnitřní rotaci a extenzi v kloubu ramenním. dx. Zde m. infraspinatus dle Kračmara udržuje ramenní kloub v centrovaném postavení, kdy se jako zevní rotátor humeru nachází v kokontrakci se silným vnitřním rotátorem.

Je to poměrně silná formulace. Spíše by se dalo hovořit o tom, že kokontrakce funkčních antagonistů ve smyslu rotace v kloubu ramenním vytváří předpoklady pro funkční centraci ramenního kloubu.

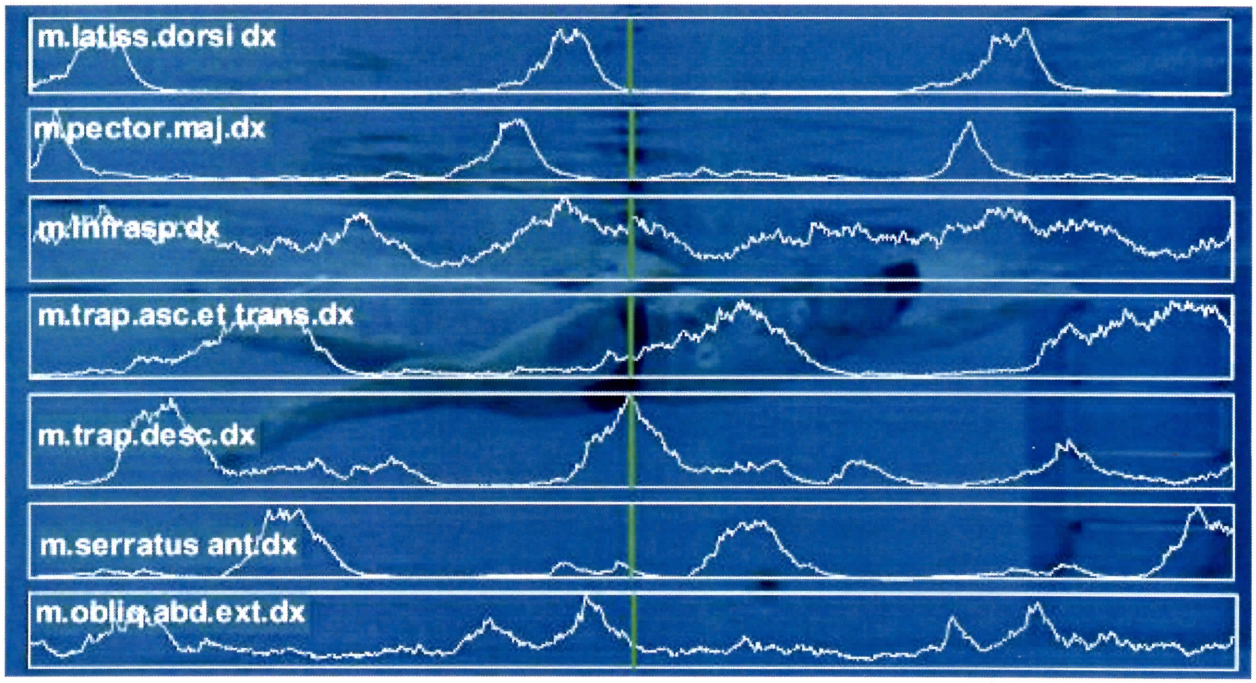
Maximální peak EMG aktivity svalu m. latissimus dorsi střídá aktivaci svalu m. pectoralis major. Jako hlavní sval pro lokomoci realizované pletencem ramenním začíná pracovat v poloze, kterou ukazuje obrázek 28, jeho vrchol je znázorněn na obrázku 29. Poté se díky poloze paže v závěrečné části záběrové fáze přesouvá lokomoční aktivita z dorzální strany trupu na stranu ventrální a pohyb dokončuje homolaterální sval. m. obliquus abdominis externus. Kontralaterálně, jak vidíme ze záznamu EMG, sval na aktivitu neměřeného svalu m. latissimus dorsi sin (nacházející se spekulativně,

přibližně, ale s velkou pravděpodobností mezi peaky svalu m. latissimus dorsi dx) neodpovídá.



Obr. 29: Vyznačení max. peaku m. latissimus dorsi dx (2. vrchol), m. obliquus abdominis externus dx

Dokončení extenze v kloubu ramenním při záběrové fázi pohybu pod vodní hladinou je důvodem druhého maxima naměřeného u m. latissimus dorsi dx, jehož aktivitu po přetažení ruky přes osu těla přebírá m. obliquus abdominis externus dx, který provede rotaci trupu. Rotace trupu usnadňuje přenos paže vytažením ramene částečně nad hladinu, což snižuje celkový odpor vodního prostředí. Pootočením trupu a přiblížení boku těla k hladině na straně přenosové paže snižuje nároky na pohyblivost v pletenci ramenním, podporuje vysokou polohu lokte a zároveň umožňuje relaxaci svalstva paže.

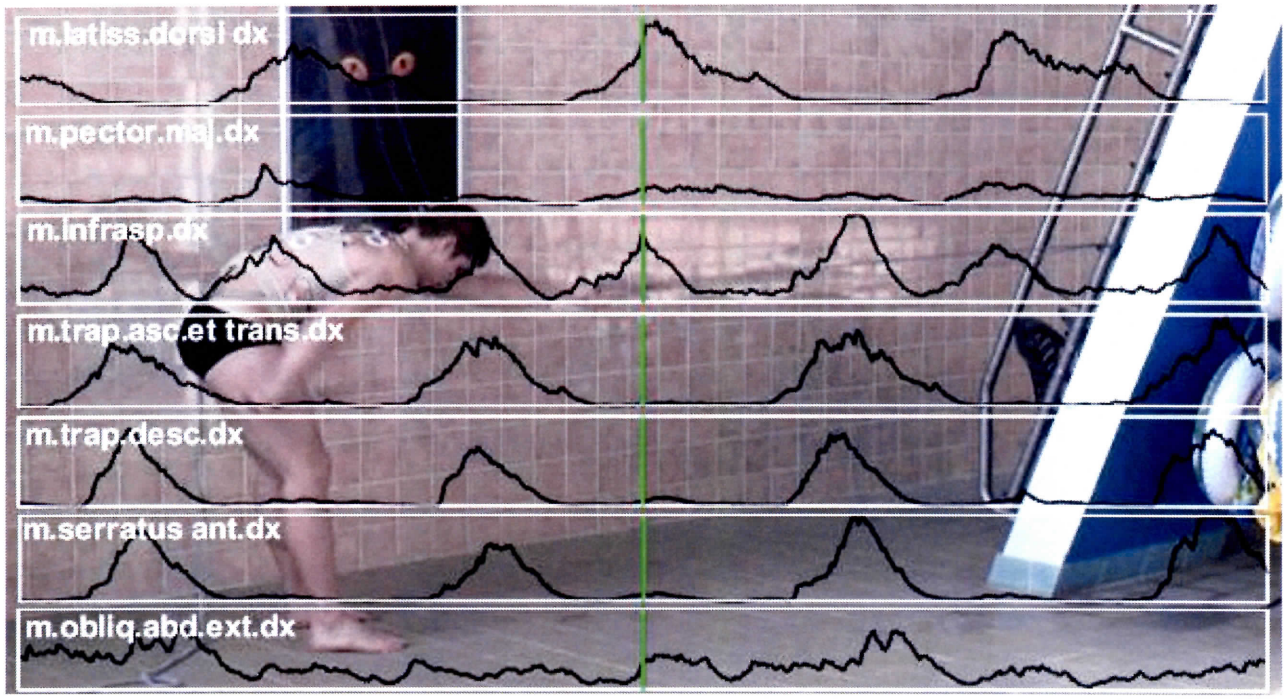


Obr. 30: Vyznačení max. peaku m. trapezius descendens dx

M. trapezius descendens dx se nejvíce aktivuje po záběrové fázi (viz kapitola 5.2.1), kdy se díky zapojení tohoto svalu posouvá ramenní pletenec kraniálně a zahajuje tak celou fázi přenosu, kdy se horní končetina z deprese ramenního kloubu musí dostat do vzpažení. Maximální aktivity dosahuje poté, co předloktí předběhne osu ramenního kloubu. Současně s maximální aktivitou m. trapezius descendens dx se začíná zapojovat m. trapezius ascendens et transversa dx, který addukuje lopatku.

Menší aktivita m. trapezius descendens dx, tzv. „doběh" svalu může být způsoben tzv. „sáhnutím" pro vodu, kdy se plavec snaží nastavit horní končetinu do ideální záběrové polohy.

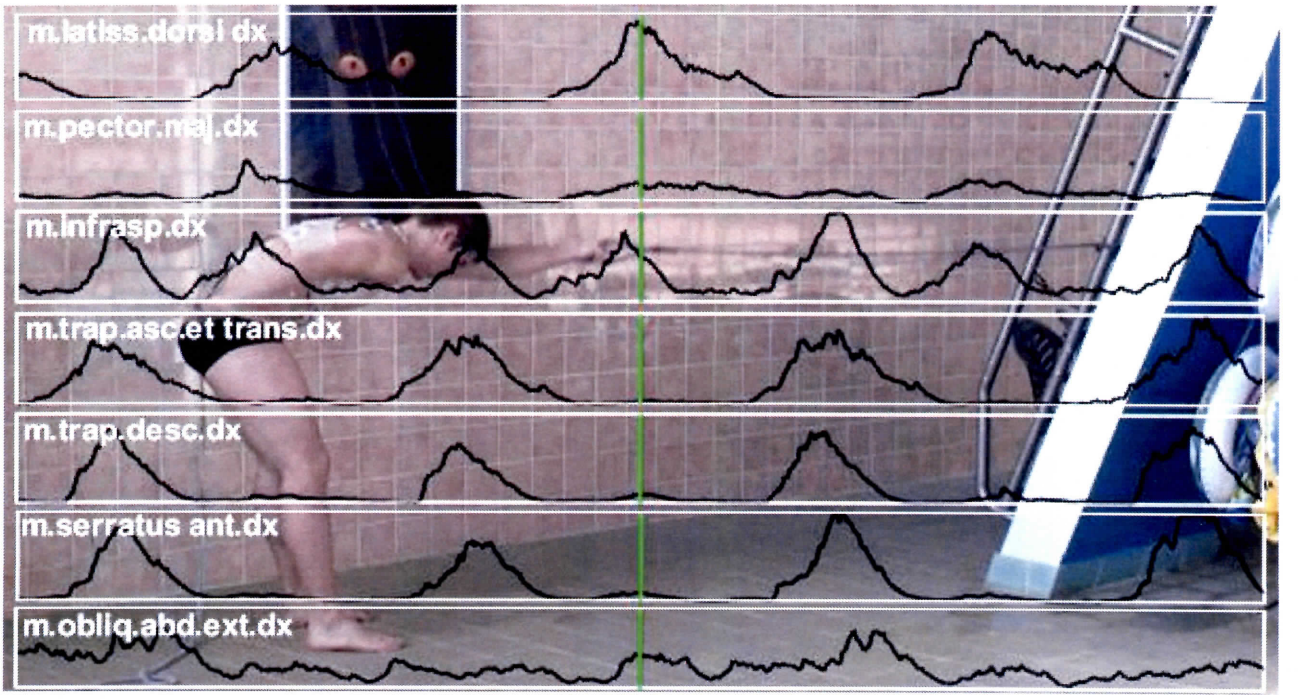
b) za použití gumového expanderu



Obr. 31: Vyznačení max. peaku m. infraspinatus dx

M. infraspinatus je stabilizátorem ramenního kloubu a je součástí rotátorové manžety. Aktivuje se těsně před m. latissimus dorsi z důvodu stabilizace ramenního kloubu jako jeho antagonista.

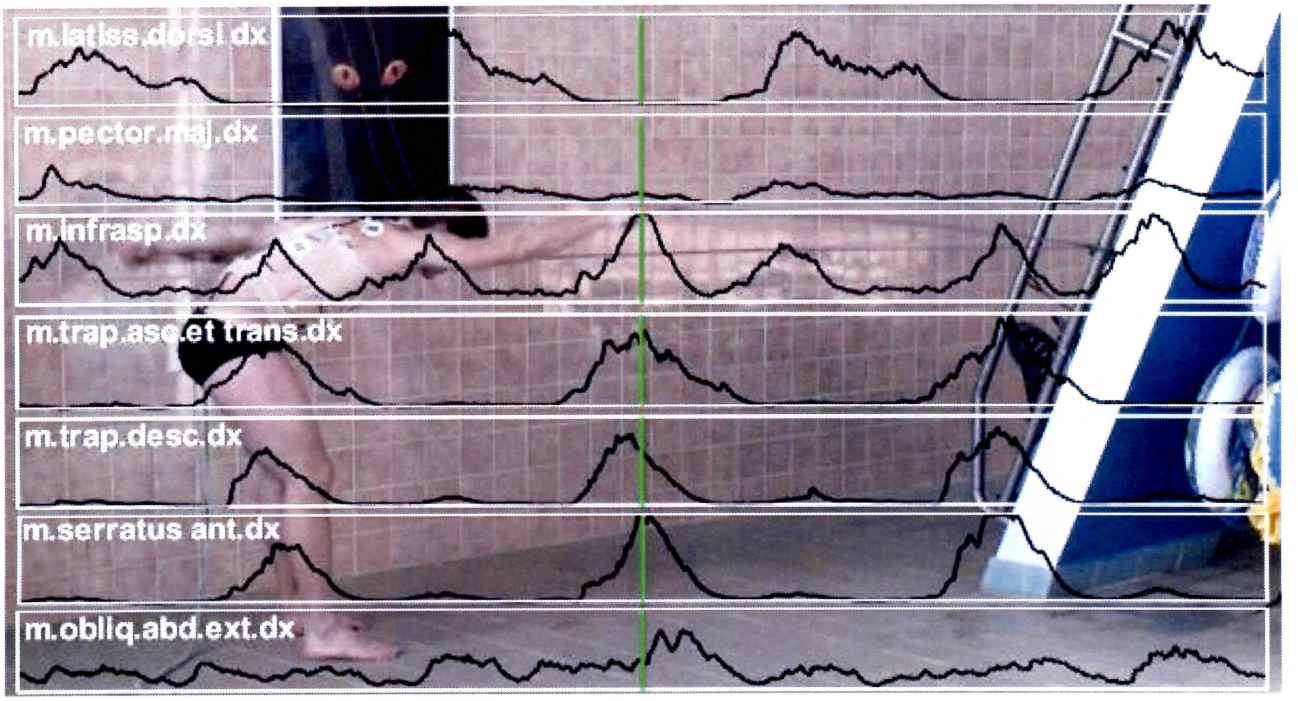
Sval m. infraspinatus dx reaguje na práci mimo vodní prostředí výrazným zklidněním průběhu křivky EMG. Ve vodě je nábor sakadovaný, více roztřesený, jakoby více tonický či posturální. Práce v prostředí, kde je pevně formulováno punctum fixum, se stává více fázickou. Oproti vodnímu prostředí je zvýrazněn peak odpovídající na charakter zatížení gumovým expandérem a zde se dokonce ukazuje jako výraznější než peak odpovídající kokontrakci funkčního antagonisty m. latissimus dorsi dx.



Obr. 32: Vyznačení max. peaku m. latissimus dorsi dx

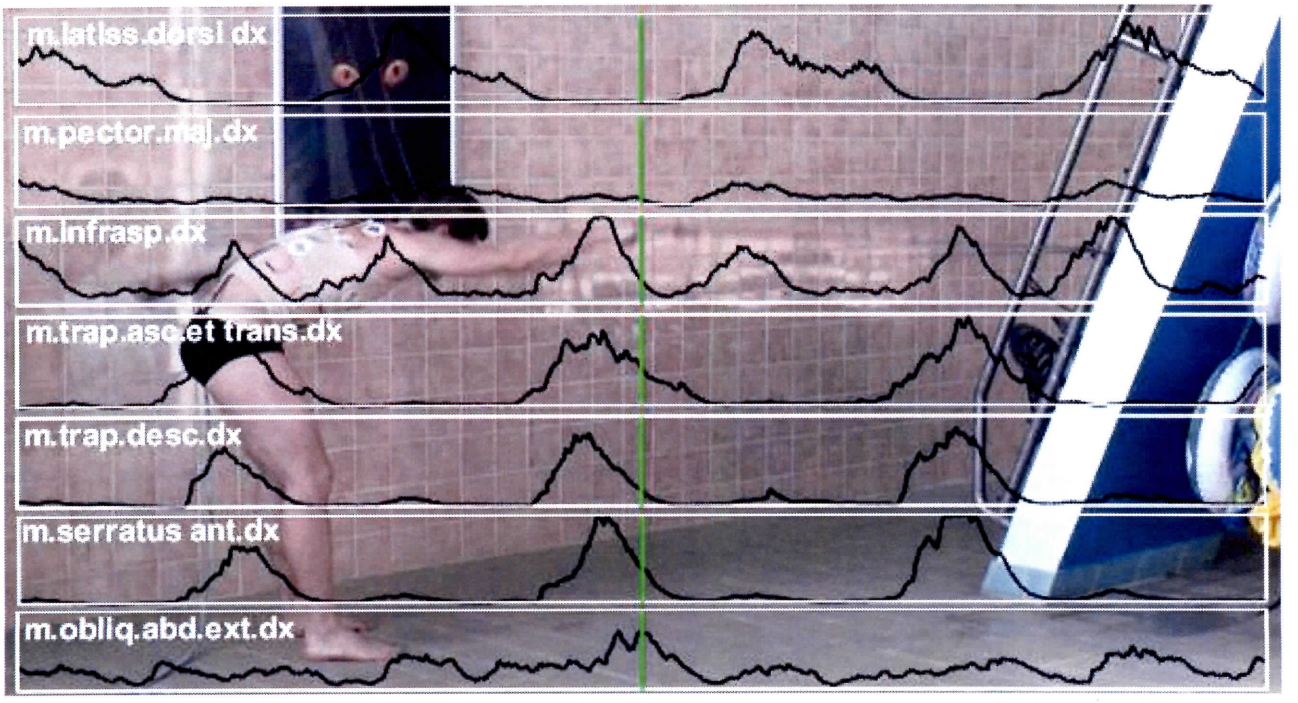
M. latissimus dorsi dx dokončuje extenzi v kloubu ramenním při záběrové fázi pohybu. Aktivace m. latissimus dorsi dx nastupuje později než při měření ve vodním prostředí z důvodu postupně narůstajícího odporu gumového expanderu. Vnitřní rotace je zajištěna proti menšímu odporu (pouze gravitace) vnitřním rotátorem – m. pectoralis major, který se téměř nezapojuje, funguje pouze jako synergista m. latissimus dorsi dx. Po několika krokových cyklech dochází ke zefektivnění pohybu a aktivita m. pectoralis major dx. je pouze dopomocná, minimální.

Vzhledem k tomu, že sval m. latissimus dorsi je považován za rozhodující sval pro fyziologickou lokomoci prostřednictvím ramenního pletence, poukazuje značně rozdílný timing jeho zapojení oproti plaveckému kroku na významně odlišný pohybový stereotyp.



Obr. 33: Vyznačení max. peaku m. infraspinatus dx, m. trapezius ascendens et transversa dx, m. serratus anterior dx, m. trapezius descendens dx

M. trapezius descendens provádí elevaci ramenního kloubu k dosažení základního výchozího postavení, tzn. maximální flexe v kloubu ramenním. Těsně předbíhá m. trapezius asc. et trans., m. serratus anterior dx a m. infraspinatus dx. Tyto svaly fungují jako funkční synergisté synchronně při udržování pohybu ve fyziologickém rozsahu.

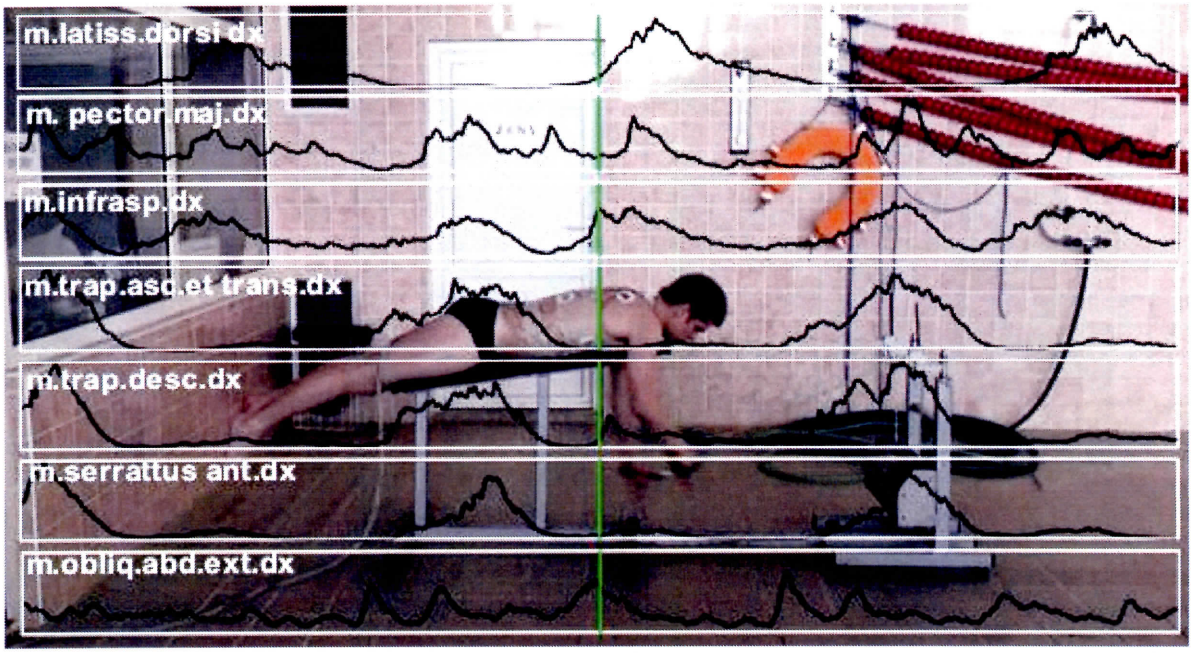


Obr. 34: Vyznačení max. peaku m. obliquus abdominis externus dx

M. obliquus abdominis externus dx je sval, který způsobuje rotaci trupu na opačnou stranu. Je-li tedy trup v rotačním postavení na levou stranu, pak šikmý břišní sval fixuje pánev tak, že drží pánev v optimální poloze a kompenzuje rotaci trupu.

Zapojení svalu nacházíme v naprosto odlišné diferencované poloze oproti plaveckému kroku. Vzhledem k tomu, že se jedná o jeden z rozhodujících svalů na ventrální straně trupu, můžeme považovat tento odlišný timing za rozhodující marker odlišnosti pohybového stereotypu, podobně jako u svalu m. latissimus dorsi dx.

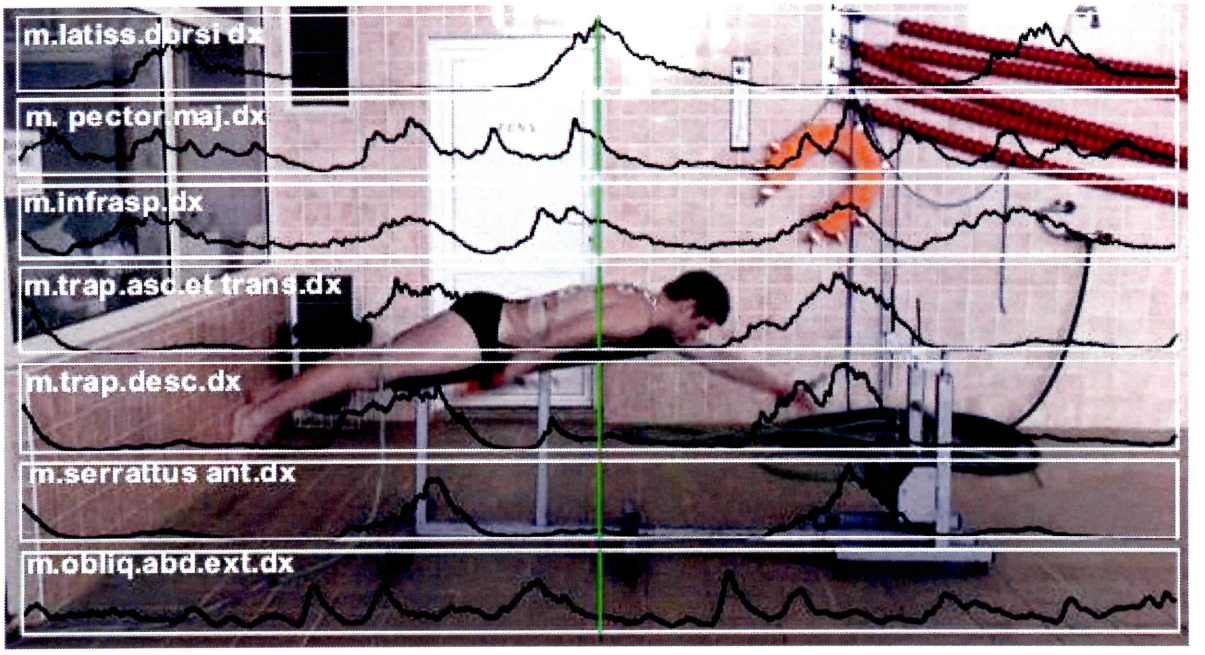
c) na plaveckém trenažeru



Obr. 35: Vyznačení max. peaku m. infraspinatus dx

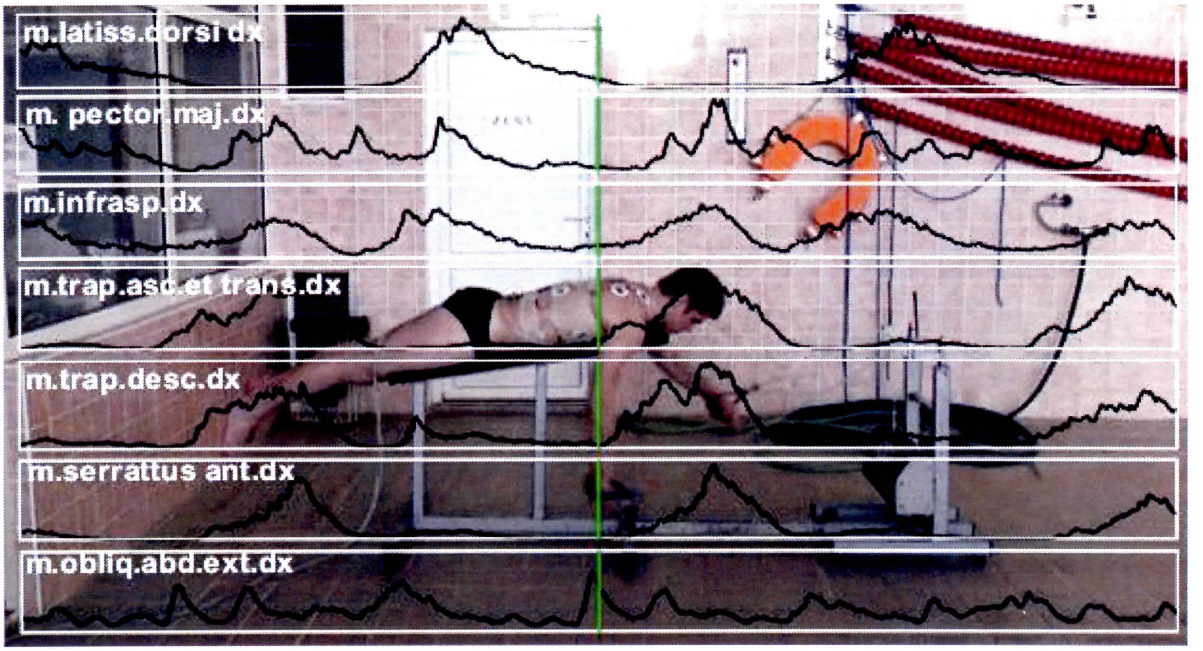
První vrchol m. infraspinatus dx těsně předchází m. latissimus dorsi dx. M. infraspinatus v této fázi pohybu stabilizuje ramenní kloub a zabraňuje tak protrakci ramenního kloubu vlivem gravitace, aby mohl být pohyb horní končetiny veden po nejkratší možné dráze, čímž dojde ke zefektivnění pohybu. Mírně odlišný timing vnitřních a zevního rotátoru může poukazovat na horší fenomén kokontrakce funkčních antagonistů, a tím pádem možnou menší mírou funkční centrace ramenního kloubu.

Při druhém vrcholu m. infraspinatus dx působí kokontrakčně k m. pectoralis major dx a stabilizuje ramenní kloub ve středním postavení. Po maximálním peaku m. infraspinatus dx nastupuje m. latissimus dorsi, který převezme jeho aktivitu.



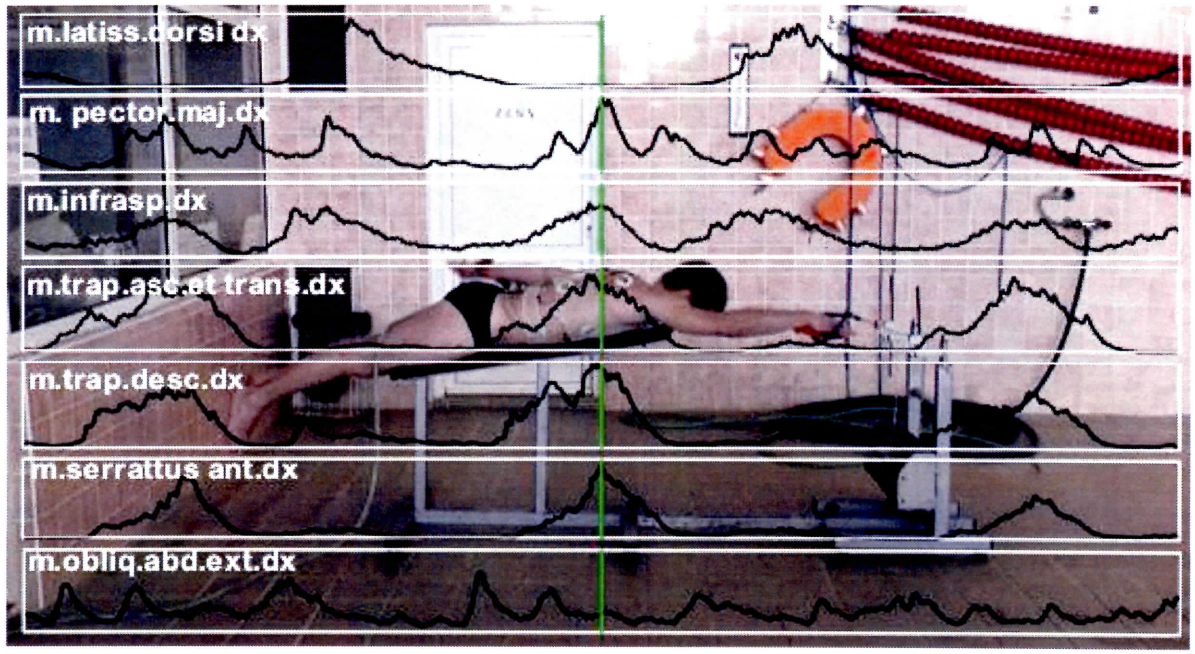
Obr. 36: Vyznačení max. peaku m. latissimus dorsi dx

Hlavní funkcí m. latissimus dorsi je vnitřní rotace, addukce a extenze v ramenním kloubu. Ze sledovaných svalů je m. latissimus dorsi jediným extenzorem v kloubu ramenním, tudíž dosahuje svého maxima při ukončení aktivace ostatních sledovaných svalů. Opět diferencovaná poloha odpovídající maximálnímu peaku významně neodpovídá poloze ve vodním prostředí a ukazuje na odlišnost pohybového stereotypu obou činností.



Obr. 37: Vyznačení max. peaku m. obliquus abdominis externus dx

Lavice plaveckého trenažéru představuje pro probanda punctum fixum, tudíž může m. obliquus abdominis externus dx zastávat pouze funkci stabilizační, aby nedocházelo při pohybu horních končetin k rotaci trupu, která při práci na plaveckém trenažéru není nutná, neboť nedochází k fázi vytažení a přenosu nad podélnou osu těla. Diferencovaná poloha odpovídající maximálnímu peaku je blíže extenzi v ramenním kloubu a blíží se více plaveckému kroku nežli posilování pomocí expandérů, kde je tato poloha nalezena ve flexi.



Obr. 38: Vyznačení max. peaku m. pectoralis major dx, m. trapezius ascendens et transversa dx, m. serratus anterior dx, m. trapezius descendens dx

M. pectoralis major dx, m. trapezius ascendens et transversa dx, m. serratus anterior dx a m. trapezius descendens dx jsou nejvíce aktivovány ve fázi maximální flexe v ramenním kloubu, které proband na trenažéru dosahuje.

M. trapezius ascendens et transversa dx v maximálním vzpažení tlačí ramenní kloub dorzálně. M. trapezius descendens dx vytáhne vzpaženou horní končetinu více kraniálně, jakoby ve směru plavby.

M. pectoralis major (pars clavicularis) se jako pomocný sval podílí na flexi v ramenním kloubu, jako celek se jako pomocný sval podílí rovněž na extenzi, zároveň je však jeho hlavní funkcí jako celku addukce a vnitřní rotace v kloubu ramenním (Janda, 2004). Fáze, ve které se na plaveckém trenažéru m. pectoralis major dx aktivuje nejvíce, je přechod mezi vzestupnou a sestupnou fází paže, což odpovídá všem shora uvedeným funkcím tohoto svalu. Oproti plaveckému kroku nalézáme aktivaci svalu výrazně oddělenou od následné aktivace m. latissimus dorsi dx. V plaveckém kroku aktivace těchto dvou svalů v sebe plynule přecházejí.

M. infraspinatus jako neutralizační sval zabraňuje v této pozici vnitřní rotaci při extenzi v ramenním kloubu. Jeho druhý peak reaguje na aktivaci dalšího vnitřního

rotátoru, sval. m. latissimus dorsi dx. Na rozdíl od plaveckého kroku jej však mírně předchází, nejedná se tak již o čistou kokontrakci. Svaly tak reagují na vytvoření puncta fixa v pevném prostředí. Vodní prostředí dovoluje provedení lokomoční propulzní akce v centrovaném postavení ramenního kloubu, projevujícím se mimo jiné zakřivenou esovitou trajektorií zabírající paže.

8. Závěr

Cílem práce bylo porovnání zapojení svalů v oblasti ramenního pletence při plaveckém kroku a vybraných posilovacích cvičeních

Podařilo se shromáždit teoretické podklady o plaveckém stylu kraul.
Jádrem informací byly:

- diplomová práce zabývající se plaveckou technikou kraul,
- konzultace s trenéry plavání,
- vlastní dlouholeté zkušenosti s vrcholovými plaveckými sporty,
- údaje z internetu.

Pro studii jsme zvolili 1 probanda, který byl zdravým jedincem. Díky dlouholetému provozování triatlonu na vrcholné úrovni má pevně fixovaný pohybový stereotyp plaveckého stylu kraul. Výběr byl založen na dobrovolnosti a zájmu o spolupráci. Zpracování a prezentace výsledků probíhalo anonymně.

Svaly byly vybrány s ohledem na jejich zapojení při lokomoci prostřednictvím pletence ramenního, podle jejich dostupnosti pro povrchovou EMG. Výběr byl omezen pouze počtem přenosových kanálů EMG přístroje.

Bylo provedeno EMG měření u 1 probanda v plaveckém bazénu (volný způsob), na plaveckém trenažéru a při použití gumového expanderu. Před měřením byl přístroj kalibrován, proband absolvoval odpovídající rozcvičení. EMG záznam byl doplněn obrazovým záznamem společně s optoelektronickou synchronizací pohybu.

Zpracování a porovnání dat bylo provedeno metodami:

- stanovení pořadí lokálních maxim sledovaných svalů v rámci krokového cyklu,
- stanovení střední hodnoty plochy pod EMG křivkou v rámci krokových cyklů,
- vzájemné porovnání křivek EMG aktivity sledovaných svalů v rámci jednoho krokového cyklu se sjednocením časových os,

- vzájemné porovnání korelační matice křivek EMG mezi jednotlivými sledovanými svaly,
- přiřazení diferencovaných pozic klíčových míst pohybu získaných z videozáznamu k odpovídajícím EMG křivkám, pro intraindividuální porovnání EMG grafů byly záznamy převedeny na společnou citlivost snímacích kanálů
- Uvedené metody byly užity jako nástroje ke kineziologickému rozboru sledovaného pohybu.

Data byla u zvoleného probanda intraindividuálně porovnána.

Nepotvrdila se první hypotéza. Timing svalové aktivace vybraných svalů, měřených při plaveckém záběru volnou technikou ve vodním prostředí byl totiž více shodný s timingem svalové aktivace při použití gumového expanderu, než při použití plaveckého trenažeru.

Hypotéza nebyla potvrzena proto, že při porovnání středních hodnot ploch pod EMG křivkou na jeden krok došlo k výraznější shodě hodnot mezi plaveckým záběrem volnou technikou ve vodním prostředí a při použití gumového expanderu. Stejně tak i při porovnání pořadí pozic lokálních maxim EMG křivky v rámci sledovaných kroků došlo k častější shodě mezi plaveckým záběrem volnou technikou ve vodním prostředí a při použití gumového expanderu.

Potvrdila se druhá hypotéza, že podobnost timingu nástupu svalové aktivace měřených svalů bude v porovnání plaveckého trenažeru s gumovým expanderem bližší, než jednotlivé posilovací cviky porovnané s plaveckým záběrem volnou technikou ve vodním prostředí.

Výsledky ukázaly daleko vyšší míru shody mezi těmito vybranými cvičeními než jejich jednotlivá porovnání s plaveckým krokem ve vodním prostředí.

Plavecký způsob kraul využívá puncta fixa, které je ve vodě simulováno, projevuje se nejvíce funkcí m. infraspinatus, který zde funguje více tonicky a stále hledá optimální centraci ramenního kloubu, což je zjevné na uvedených grafech. Toto hledání je umožněno existencí vodního prostředí.

Charakter pohybu je velmi blízký pohybovým vzorům lidské pohybové ontogeneze. Velmi podobná je práce trupu a paží při způsobu kraul a při „reflexním" plazení podle Vojty. Punctum fixum je při zahájení záběru nalezeno „uchopením vody" a v průběhu záběru se přesouvá na celou záběrovou plochu paže. Je tak částečně nahrazena opora (o výrazně menší ploše) na pevné zemi. Oporná plocha celé záběrové paže dovoluje práci v diagonálním režimu.

Toto je hlavní rozdíl oproti (v diplomové práci) vybraným posilovacím cvičením, které jsou vedeny v čisté sagitální rovině a neumožňují práci paží v diagonálním režimu. Z výsledků se jeví jako vhodnější alternativa k plaveckému tréninku použití gumového expanderu, kde výsledky ukázaly vetší shodnost svalového timingu vybraných svalů.

V současné době není jednotný názor na průběh svalového úsilí při záběru. Někteří autoři se domnívají, že nejlepší plavci dovedou v krátkém časovém úseku, pravděpodobně již na začátku záběrové fáze, vyvinout velké svalové úsilí, které udržují v průběhu celého záběru na vysoké úrovni. Na konci záběru potom v krátkém časovém úseku relaxují. Část autorů se naopak domnívá, že plavci v průběhu záběru svalové úsilí neustále stupňují.

Diplomová práce by svými výsledky podpořila spíše teorii druhou, a to, že se svalové úsilí v průběhu záběrové fáze stále zvyšuje, což je charakteristické pro vlastnosti gumového expanderu, který z výsledků vyšel jako více podobný pohyb plavecké lokomoci kraulovým způsobem.

9. Seznam použitých zkratek

abd.	abdominis
ADL	activity daily living
ant.	anterior
asc.	ascendens
CNS	centrální nervový systém
ČZU	Česká zemědělská univerzita
desc.	descendens
dx	dexter
EMG	elektromyografie
ext.	externus
FTVS	Fakulta tělesné výchovy a sportu
infrasp.	infraspinatus
latiss	latissimus
LTV	léčebná tělesná výchova
m.	musculus
maj.	major
MJ	motorická jednotka
n.	nervus
nn.	nervi
obliq	obliquus
pector.	pectoralis
sin	sinister
trans.	transversa
trap.	trapezius
UK	Univerzita Karlova

10. Seznam použité literatury

1 COLWIN, C., M. *Breakthrouch Swimming.* USA: Human Kinetics, 2002. ISBN 0736037772.

2 ČECHOVSKÁ, I.,MILLER,T. *Plavání.* Praha: Grada, 2001. ISBN 80-247-9049-1.

3 ČIHÁK, R. *Anatomie I.* 2. vyd. Praha: Grada, 2001. ISBN 80-7169-970-5.

4 DE LUCA, C., J. *The use of Surface Electromyography in Biomechanics.* The international Society for Biomechanics. [on-line]. © 2003 [cit. 4.3.2009]. Dostupné www: <http://www.delsys.com/>

5 GROSS, M. J., FETTO, J., ROSEN, E. *Vyšetření pohybového aparátu.* Praha : Triton, 2005. ISBN 80-7254-720-8.

6 HOCH, M. *Plavání (Teorie a didaktika).* Praha: SPN, 1987. ISBN 14-342-87.

7 CHATARD, J-C. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX.* Saint – Étienne: Université de Saint – Étienne, 2003, 590 str. 111 – 114.

8 JANDA, V. a kol. *Svalové funkční testy.* Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0722-5.

9 KADAŇKA, Z., BEDNAŘÍK, J., VOHÁŇKA, S. *Praktická elektromyografie.* Brno : Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1994. ISBN 80-7013-181-0.

10 KOLÁŘ, P. Vertebrogenní obtíže a stabilizační funkce svalů – diagnostika. *Rehabil. fyz. Lék.*, 2006, roč. XIV., č. 4, s. 155-170.

11 KRAČMAR, B. Využití teorie reflexní lokomoce při kvalitativní analýze sportovní činnosti. *Rehabilitácia,* 2001, roč. XXXIV., č. 3, s. 157 – 170.

12 KRAČMAR, B. *Kineziologická analýza sportovního pohybu: Studie lokomočního pohybu při jízdě na kajaku.* Habilitační práce. UK v Praze, FTVS, 2002.

13 KRAČMAR B., VYSTRČILOVÁ, M. Nové pohledy na pohybové aktivity člověka – V. Plavání. Těl.Vých.SportMlád., 2007, roč. 73, č. 7, s. 2-6.

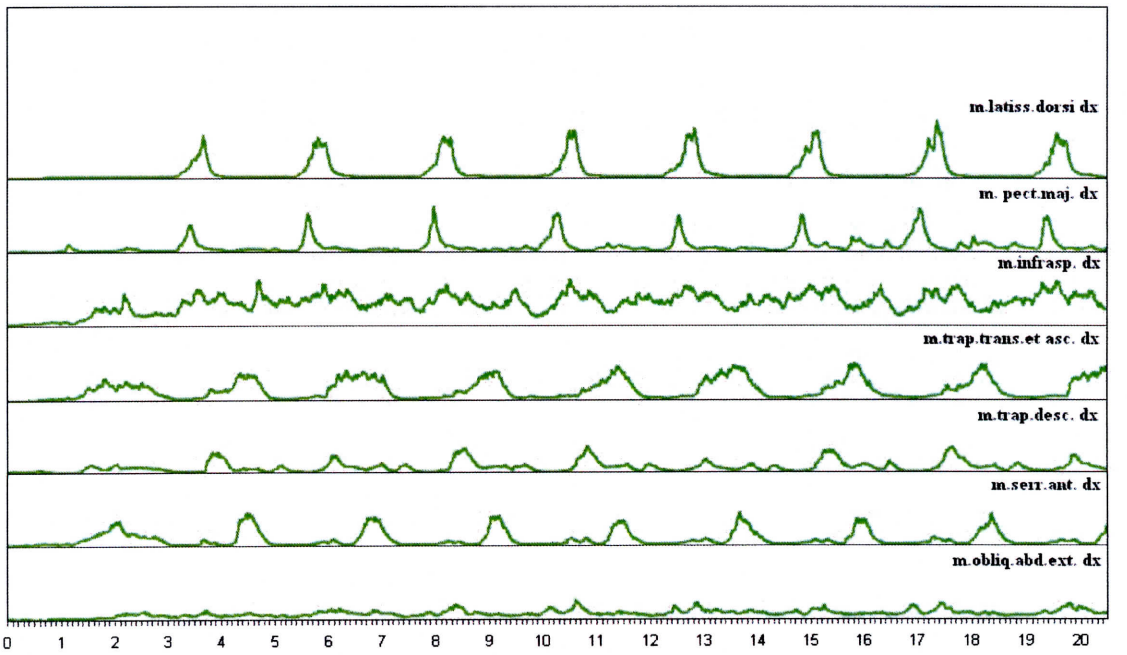
14 KRAČMAR, B. *Kineziologická analýza sportovního pohybu.* Praha : Triton, 2002. ISBN 80-7254-282-3.

15 KRAČMAR, B. *Nové pohledy na pohybové aktivity člověka – I. Vývoj pohybu člověka v okolním prostředí.* Těl.Vých.Sport Mlád, 2007, roč. 73, č. 3, s. 2-7.

11. Přílohy

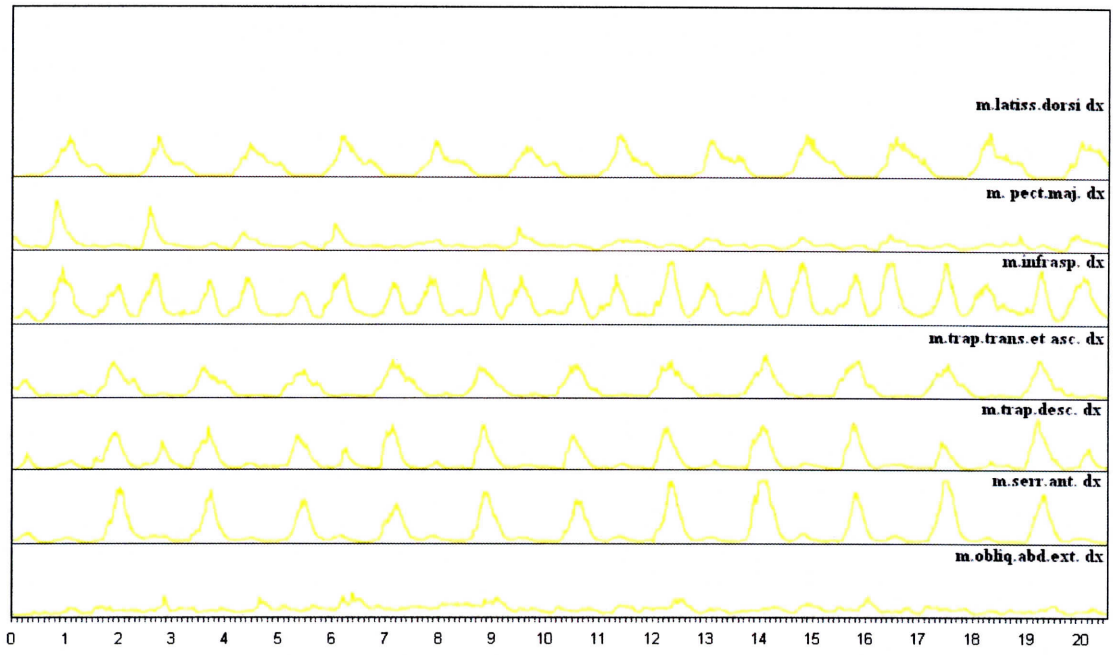
EMG záznamy

1) plaveckém kroku kraul ve vodním prostředí



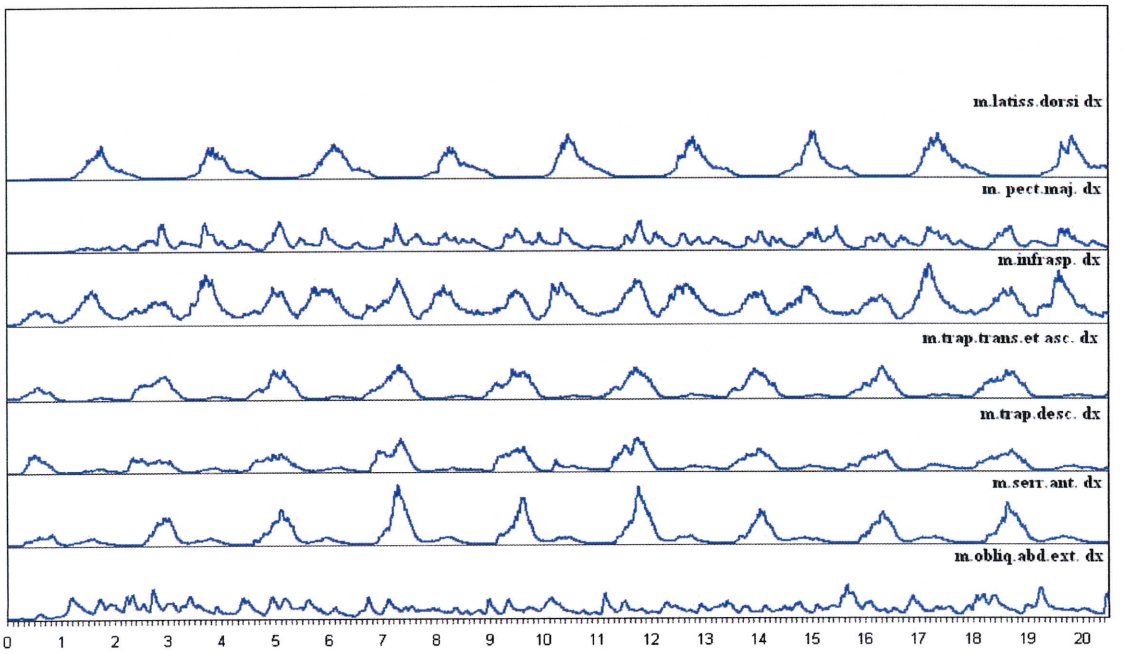
Obr. 39: EMG záznam v průběhu 20,4 sec při plaveckém kroku kraul ve vodním prostředí

2) při náznaku plaveckého kroku kraul na gumovém expanderu

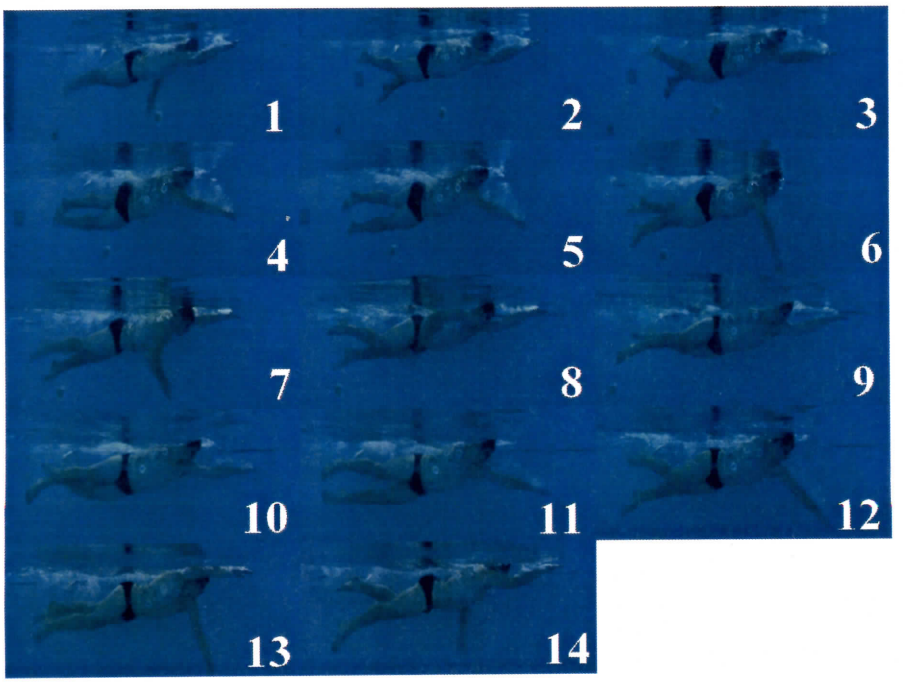


Obr. 40: EMG záznam v průběhu 20,4 sec při krokovém cyklu při použití gumového expanderu

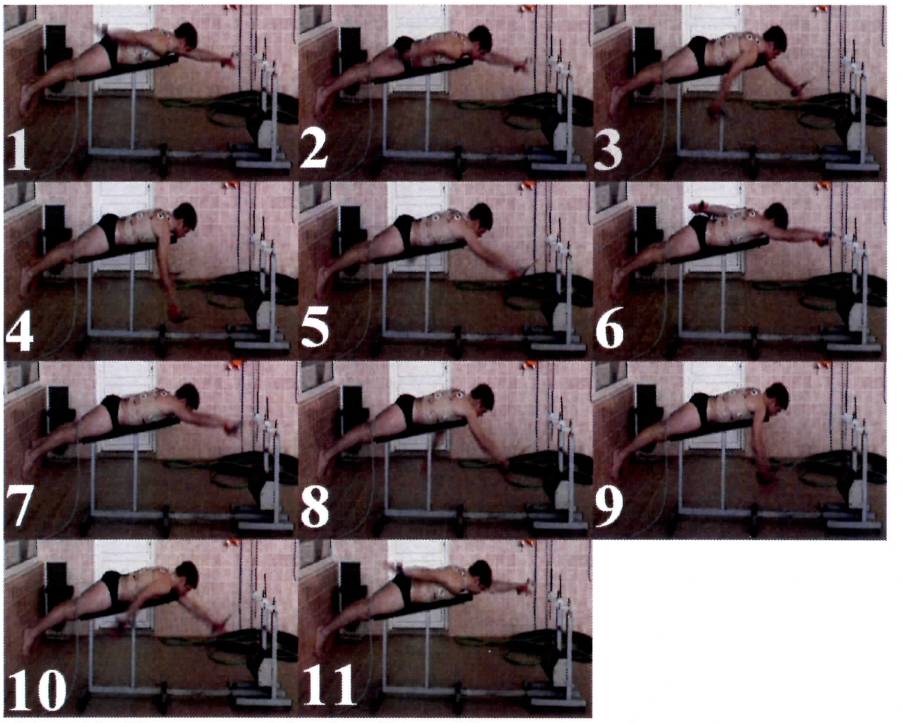
3) při náznaku plaveckého kroku kraul na plaveckém trenažéru



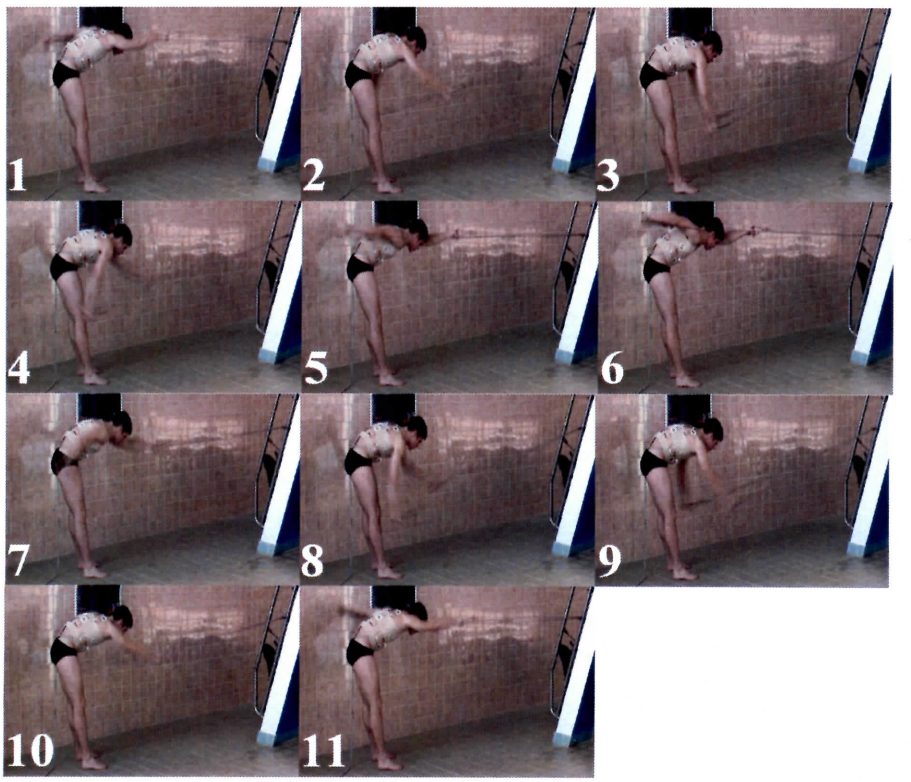
Obr. 41: EMG záznam v průběhu 20,4 sec při krokovém cyklu na plaveckém trenažeru



Obr. 42: Kinogram 1 plaveckého kroku kraul ve vodním prostředí, trvající 2,23 sec.



Obr. 43: Kinogram 1 krokového cyklu na plaveckém trenažeru trvající 2,21 sec.



Obr. 44: Kinogram 1 krokového cyklu při použití gumového expanderu, trvající 1,67 sec.

Práce získala souhlas etické komise UK FTVS. Proband, který se zúčastnil výzkumu, podepsal informovaný souhlas pro využití fotodokumentace k vypracování diplomové práce. Z důvodu anonymity nejsou tyto dokumenty součástí diplomové práce a autor je má u sebe uschovány.