

Zpracovala: Pokorná Jitka
Katedra plaveckých sportů UK FTVS

Vliv delfínového vlnění na pohybovou soustavu člověka

Bronislav Kračmar, Petr Smolík, Tomáš Dvořák

Uveřejněno:

KRAČMAR, B., SMOLÍK, P., DVOŘÁK, T. Vliv delfínového vlnění na pohybovou soustavu člověka. In POKORNÁ, J. (Ed.) *Problematika plavání a plaveckých sportů V*. Praha : UK FTVS, 2008. ISBN 978-80-86317-58-8.

Klíčová slova: vodní savci, delfínové vlnění, retroverze pánve.

Fylogeneze vlnění

Lokomoce čelistnatých obratlovců se vyvinula od pravolevého vlnění plagiosmat a kostnatých ryb, stranové undulace trupu (Cox, 1966, Krobot, 2004). Propulzní pohyb trupu je zde dokončen ocasní ploutví, znázorněno na Obr.1. Párové ploutve mají pouze funkci stabilizační a brzdící. S přechodem na souš (lalokoploutvé ryby, obojživelník *Ichtiostega* v období devonu před 370 mil let - Romer, 1967) ztratila svoji dominantní lokomoční funkci ocasní ploutev. Rozhodující skutečností pro evoluci lokomoce byla existence opory na souši. Organizace pohybu je přebudována na základě bočního vlnění trupu a formulace opěrného bodu distálně od trupu ve zkrřížený kvadrupedální lokomoční vzor s funkčně strukturální metamorfózou párových ploutví v končetiny. Kostra předních končetin je oddělena od čelistí, vzniká i primitivní pánev.



Obr. 1 – Vznik kvadrupedálního zkrříženého lokomočního vzoru po nalezení pevné opory na souši, přenos lokomoční funkce ocasu na končetiny, dříve ploutve (podle Romer, 1967)

Od bazální kvadrupedie primitivních tetrapodů směřovala evoluce cestou addukce a extenze končetin a jejich přenosu pod trup (Krobot, 2004) pro zlepšení ekonomie postury,

diferenciace a zefektivnění pohybové funkce končetin. Evoluce dospěla cestou polarizace lokomočního výkonného systému ve prospěch zadních končetin k bipedální lokomoci lidského typu (srovnej s polarizací ve prospěch předních končetin – brachiace opic, lidoopů, viz Vančata, 1981).

Kromě bazální kvadrupedie jako obecné lokomoční formy na pevném povrchu existují adaptace lokomoce na jiné prostředí. Svěšnikov (in Vančata, 1981) rozeznává pohyb pomocí brv a bičků, vlněním, pomocí členitých končetin, létáním, raketový, s využitím pneumatických vlastností organismu. U pokročilých amniot přichází v úvahu pohyb pomocí končetin po pevném povrchu, létání v plynném prostředí a pohyb vlněním v prostředí vodním. Pohyb vlněním nacházíme u pokročilých savců, kteří se navrátili zpět do vodního prostředí. Jejich pohybová soustava je různě adaptována na vodní prostředí - od univerzálnějších ploutvonožců k dokonale specializovaným kytovcům.

Savci trvale žijící ve vodním prostředí, tedy delfíni, kosatky, velryby atd. modifikovali svůj výkonný lokomoční systém (lokomoční aparát a koordinačně řídicí centrum - viz Vančata, 1981, 1996) na základě rozhodující skutečnosti - neexistence pevné opory ve vodním prostředí. Propulzní síla je vytvářena předozadním vlněním těla a zadní ploutve. Proč vlněním předozadním?

Po nalezení pevné opory na souši došlo k transformaci pravolevého vlnění původních vodních obratlovců do zkříženého kvadrupedálního lokomočního vzoru - obr.1. Ocas předal svoji funkci hlavního orgánu lokomoce končetinám (původně párovým ploutvím) a jeho úloha v organizaci dopředného pohybu je tak nenávratně ztracena. Při návratu savců do vodního prostředí (Dean, 1981) je pro lokomoci využito předozadního vlnění trupu. Přenos síly svalstva trupu pánve a zadních končetin se zefektivnil zvětšením akrálních částí zadních končetin. Tyto akrální části vytvářely dostatečnou oporu na pevné zemi. Zvětšením plochy aker a spojením nejdříve organizace pohybu zadních končetin a poté struktury zadních končetin synchondrózami byl vytvořen dostatečný výkonný lokomoční systém pro vodní prostředí. Protože uspořádání zadních končetin je bilaterální, výsledné lokomoční vlnění je kolmé na spojnici akrálních částí původních zadních končetin - Obr.2. Hydrodynamické podmínky byly stimulem i pro další úpravu proporcí a povrchu těla vodních savců.



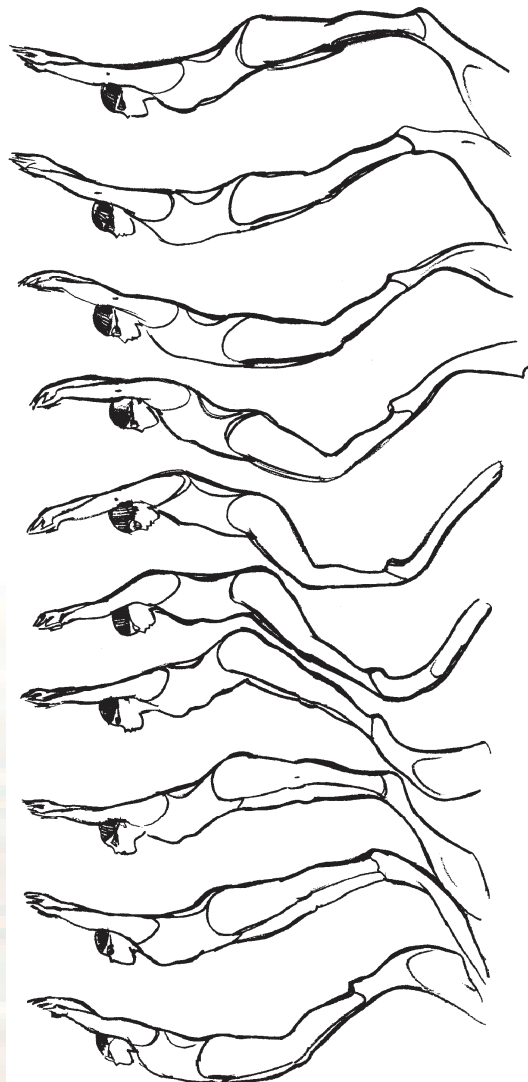
Obr. 2 – Vlnění kytovců jako alternativní forma lokomoce vodních savců, kteří již nedisponují původním ocasem s lokomoční funkcí

Vlnění v lidské lokomoci

Lidská pohybová ontogeneze postupně „rozbaluje“ své jednotlivé fáze a vrcholí volnou bipedální chůzí (Véle, 1995). Pohyb vpřed je organizován ve zkříženém lokomočním kvadrupedálním vzoru (Vojta, Peters 1995). Horní končetiny se neúčastní lokomoce ve smyslu uzavřeného kinetického řetězce, ale participují na dynamice pohybu vyrovnáváním rotačních, spíše torzních momentů, vznikajících bipedální lokomocí – srovnejme s kolébatou chůzí tučňáka, která není organizována ve zkříženém vzoru. Uvedený lokomoční vzor je pro člověka bazální organizací pohybu na pevné zemi (Véle, 1997). Člověk jej dokáže používat při šplhání, lezení po čtyřech, ale i při plavání (Kračmar, 2002, Vacková 2004). Tedy při

plavání bez potopení. Předpokladem pro efektivní užití kvadrupedálního vzoru při pohybu ve vodě je možnost přenosu paží (vlastně nakročení) vzduchem - tedy bez odporu vodního prostředí pro následující záběr. To je možné jen při plavání po hladině (ve skutečnosti u hladiny).

Člověk ale dokáže organizovat pohyb pro lokomoci i předozadním vlněním (tzv. delfínové vlnění). Tento pohyb není obsahem lidské pohybové ontogeneze. Musí na ní proto navazovat učení. Schopnost synchronního vlnění pravolevých částí těla souvisí zřejmě s nepřekřížením části pyramidových drah v intumescencích. Jedná se o alternativu lidské lokomoce. Zcela je změněn lokomoční typ v závislosti na změně prostředí, na neexistenci pevné opory. Vlnění je organizováno podobně jako vlnění kytovců. Propulzní síla je generována především trupem a dolními končetinami. Samotné plochy nohou jsou malé pro přenos síly mohutných svalových skupin trupu, pánve, dolních končetin v kapalném prostředí. Jsou uzpůsobeny jako opora na pevném povrchu a tam je jejich velikost dostatečná. Pro sportovní disciplíny ploutvového plavání, podobně i pro rekreační potápění jsou akrální části dolní končetiny zvětšeny ploutvemi nebo monoploutví. Elasticita ploutví, resp. monoploutví je volena tak, aby zde plynule doznívala horizontální vlna, která začala v oblasti ramenního pletence a postupně postoupila celým tělem a dolními končetinami až do akrálních částí - Obr. 3.



Obr. 3 - Lidská forma lokomoce ve vodním prostředí - „delfínové vlnění“

Ploutvové plavání

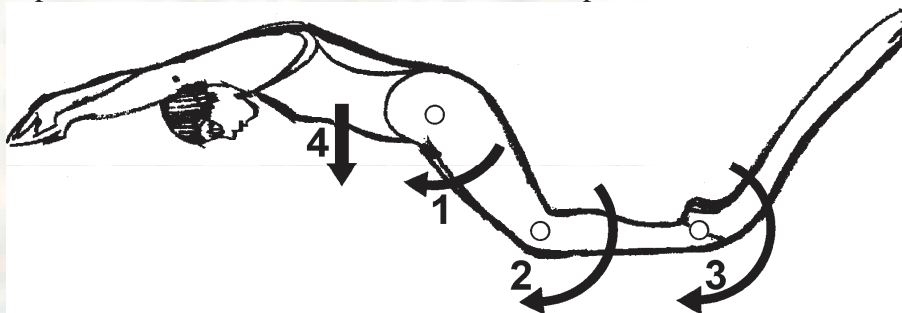
Ploutvové plavání je realizováno s kratšími či delšími ploutvemi nebo s monoploutví pro obě končetiny. První dvě formy využívají střídavého pohybu dolních končetin. Plavání s monoploutví umožňuje nejvyšší působení propulzních sil pro pohyb vpřed. Je zároveň předmětem naší pozornosti v tomto příspěvku pro značnou tvarovou podobnost s pohybem savců trvale žijících ve vodním prostředí.

Při popisu vzniku propulzních sil v plavání s ploutvemi - delfínovém vlnění vycházíme ze základní hydrodynamické splývavé polohy, kdy paže plavce jsou ve vzpažení dovnitř s překrytím rukou a obě dolní končetiny přesahují mírně úroveň boků směrem k hladině. Hlezenní klouby (kotníky) protínají hladinu. Záběrová fáze dolních končetin je zahájena svalovými skupinami zajišťující flexi v kyčelních kloubech pohybem stehen směrem dolů od hladiny. Dolní končetiny se současně pokrčují v kolenou. Pro tento pohyb (flexi) není třeba vynakládat velkou (žádnou) svalovou sílu, protože nastává přirozeně jako výsledek tlaku vody

na záběrové části nohou a plochu monoploutve a také jako reakce na předcházející záběrové pohyby, které vedou segmenty těla po sinusoidě. Naopak je nutné zabránit tomu, aby flexe v kolenních kloubech nebyla příliš velká. Nadměrné pokrčení v kolenních kloubech negativně ovlivňuje kvalitu záběru - velikost propulzních sil a techniku vlnivého pohybu. Dolní končetiny se dále v tomto postupném pohybu směrem dolů v důsledku následné rychlé a dynamické extenze v kolenních kloubech natahují (propínají). Závěrečná fáze záběrového pohybu do nejnižšího bodu sestupné fáze je provedena nataženými (propnutými) dolními končetinami oporou nártů do listu monoploutve. Pružnost monoploutve prodlužuje a zvyšuje záběrový účinek dolních končetin (propulzní sílu).

Navazující pohyb dolních končetin směrem k hladině je zahájen a veden svalovými skupinami pro extenzi v kyčelních kloubech. Pohyb je vykonáván nataženými dolními končetinami. Stehna a další segmenty dolních končetin se postupně přibližují k hladině. Hlezenní klouby dosahují v závěru vzestupné fáze úrovně hladiny. V tomto momentu se oblast hlezenních kloubů nohou (kotníky) nachází v nejvyšším bodu (vrcholu) pohybového cyklu - trajektorie záběru dolních končetin. Pružnost monoploutve opět způsobuje zpožděný pohyb listu, který postupně kopíruje pohyb hlezenních kloubů (kotníků). Tvar listu monoploutve reaguje na tlak vody ve směru vztlakové síly a chová se pružně a zároveň vytváří propulzní sílu.

Technika delfínového vlnění pod hladinou a na hladině je odlišná. Při plavání pod hladinou je v důsledku většího rozsahu pohybu hlezenních kloubů (kotníků) resp. monoploutve směrem nahoru k hladině záběrový pohyb silovější, dynamičtější a vytváří větší propulzní sílu. Vznik propulze při delfínovém vlnění si můžeme představit pomocí vektorového součtu obvodových rychlostí tří obecných rotačních pohybů. A to stehem vůči kyčelním kloubům - na obr.4 pozice 1, bérce vůči kolenním kloubům - pozice 2, nohou vůči hlezenním kloubům - pozice 3 a postupné rychlosti celé soustavy (těla) ve svislé rovině - pozice 4.



Obr. 4 – Rotační a postupné pohyby částí pohybové soustavy, podílející se na vytváření propulzní síly

Dokonalá technika delfínového vlnění se vyznačuje pravidelnou křivkou, sinusoidou, vznikající pohybem hlezenních kloubů (kotníků) ve svislé rovině v pohybovém cyklu dolních končetin, která je následně přenášena na další segmenty těla až po distální části rukou. Rozsah pohybu vyjádřený sinusoidou je v hlezenních kloubech největší, směrem kraniiálním se amplituda sinusoidy jednotlivých segmentů těla zmenšuje. Základnou pohybu se stává pánev. Je zajímavé, že časová posloupnost vlny, vytvářené společnou prací dolních končetin, je zcela odlišná od fenoménu trojflexe. Trojflexe je součástí lidské pohybové ontogeneze a na rozdíl od postupné flexe v průběhu vlny při ploutvovém plavání probíhá téměř současně flexe ve všech kloubech dolní končetiny.

Podobně společná flexe v obou kyčelních kloubech nekopíruje fyziologický kloubní vzorec pohybu. S narůstající flexí v kyčli nedochází zároveň k abdukci a zevní rotaci femuru, jak je tomu v geneticky podmíněných pohybových programech člověka pro kvadrupedální lokomoci.

Metoda sledování

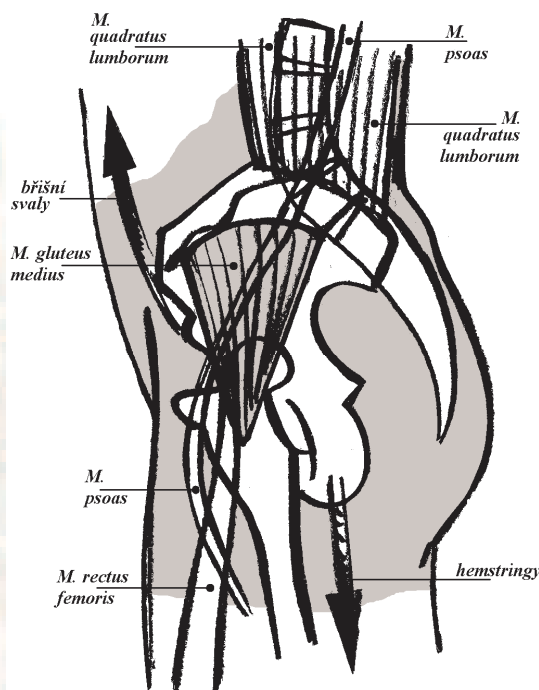
Pro posouzení konkrétní individuální techniky pohybu výkonnostního ploutvového plavce na pohybovou soustavu není možné použít jako objektivizační metodu *elektromyografické snímání potenciálů* povrchových svalových skupin. Pro toto posouzení jsme zvolili sledování tvaru pohybu reprezentačním trenérem s dlouholetými zkušenostmi a provedení kineziologického rozboru závodníka zkušeným fyzioterapeutem. V tomto směru nacházíme určitou slabinu této studie. I když se jedná o zkušené a úspěšné odborníky a objektivita jejich hodnocení je bezesporu vysoká.

Pro ilustraci je zaznamenán pohyb bez ploutví, při němž nacházíme jasnější diferenciaci techniky vlnění jednotlivých plavců.

Kineziologický pohled na ploutvové plavání ukazuje, že při záběru dolními končetinami, kde se využívá opory o masu vody, je rozhodující dostatečně pevná stabilita a koordinovaná dynamika pánve v předozadním směru. Pánev je oporou pro práci dolních končetin i trupu a timing jejího úhlového nastavení ovlivní koordinaci jejich pohybu podmiňující technické provedení pohybu.

Byla provedena analýza pohybu tří reprezentantů ČR s odlišnou dynamikou pánve při vlnění a tím i s odlišnou technikou pohybu.

Pohyb dolních končetin do fáze záběru ideálně vychází z oblasti pánve - Obr.5, a to sice jejím sklopením do retroverze, spojeným s napřímením bederní lordózy a setrváním v této poloze do dokončení záběru. V závěru tohoto pohybu se pánev opět překlápí do antevertze. Toto zpětné překlápění je rozhodující pro přenos delfínového vlnění až na horní končetiny. To, že pánev má rozhodující vliv na techniku, jsme si povšimli již u více sportovních disciplín, u nichž jsme měli možnost provést kineziologickou analýzu. Přesto, že se jednalo o různá sportovní odvětví, našli jsme řadu paralel.



Obr. 5 – Pánev je virtuální punctum fixum pro práci pohybové soustavy při lokomoci ve vodním prostředí bez skutečné pevné opory

Posturální systém jsme hodnotili několika testy, při jejichž sestavování jsme konzultovali s doc. Pavlem Kolářem, přednostou rehabilitační kliniky FN Motol.

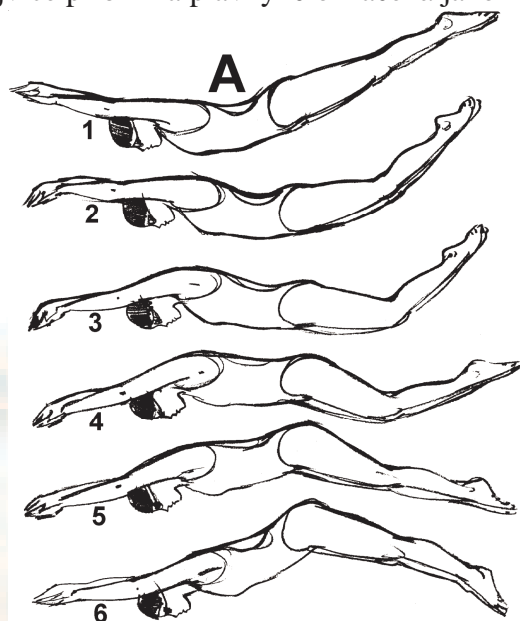
Jednalo se o:

1. Brüggerův sed se zátěží
2. klik na všech čtyřech končetinách
3. stereotyp posazování z lehu na zádech do sedu. (Kolář, ústní sdělení 2005).

Byly hodnoceny svalové souhry, symetrie, posouzeno zkrácení či oslabení svalových skupin při stoji a chůzi, laterální charakteristiky.

Reakce pohybové soustavy

Optimálnímu vzoru se nejvíce přiblížila plavkyně označená jako A na Obr.6.

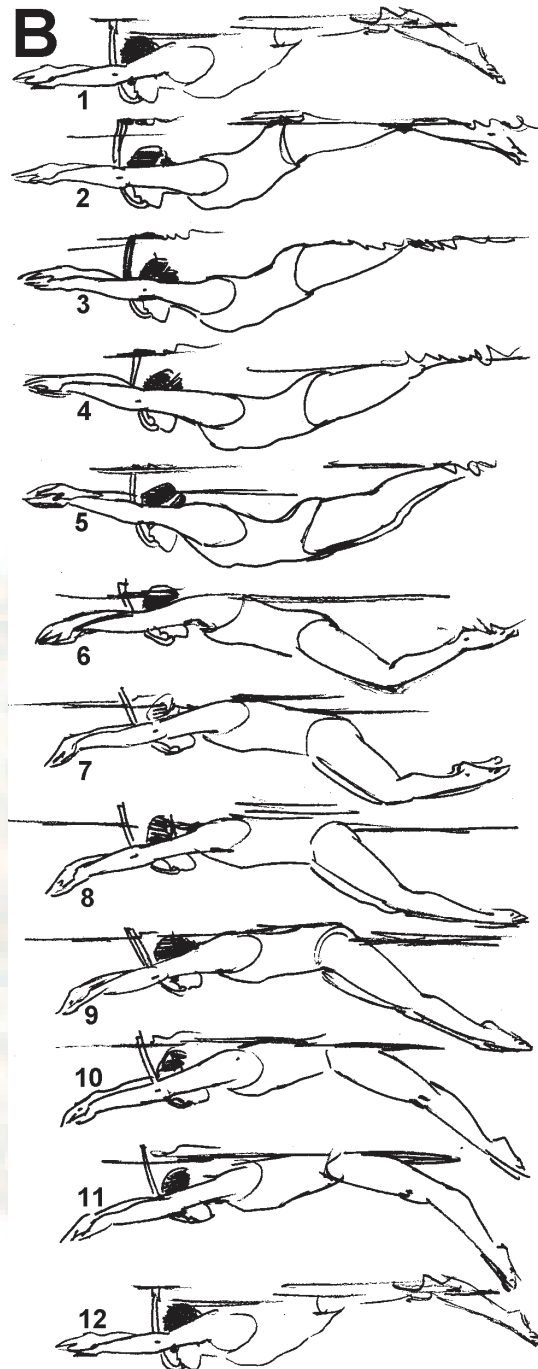


Obr. 6 – Plavkyně A: optimální provedení delfínového vlnění podsazením pánve před záběrem dolními končetinami. Pánev jako pevná opora pro záběr dolních končetin

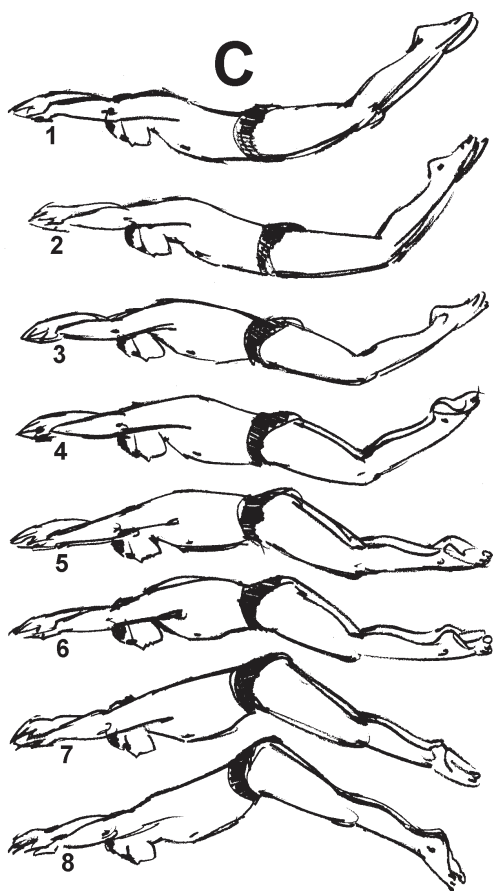
Tato plavkyně také při klinickém vyšetření vykazovala nejlepší funkci posturálního systému. Byly nalezeny pouze mírné pravolevé asymetrie, které při společné práci kontralaterálních svalů při předozadním vlnění nehrají podstatnou úlohu. Na Obr.6 zaznamenáváme na pozicích 3 a 4 primární překlopení pánve do retroverze tahem břišních svalů, především M. rectus abdominis. Do té doby pracovaly dolní končetiny do flexe v kyčelních kloubech s mírnou flexí v kolenou, umožňující zapojení oboustranných M. rectus femoris. Teprve z fixované pánve v retroverzi pak vychází další pohyb do přednožení s již extendovanými dolními končetinami v kolenních kloubech. Je tak omezeno nežádoucí přetížení oboustranných M. iliopsoas.

Plavkyně B – Obr.7 při klinickém vyšetření nevykazovala výraznou patologii břišní stěny, ale v klinickém vyšetření nejvíce dominuje hypermobilita dolní Th páteře. To se při plavání potom projevuje tím, že před klopením pánve předchází kyfotizace hrudní páteře – pozice 2 - 5, a teprve potom - od pozice 6 se pánve začíná klopit do retroverze. Překlopení pánve je tak

částečně suplováno flexí vyšších etází páteře a toto přenesení zátěže může dlouhodobě iniciovat vertebrogenní potíže v této oblasti. Zobrazení plavkyně je sice při plavání u hladiny, toto však ovlivňuje především směr pohybu dolních končetin směrem k hladině a tedy do extenze v kyčelních kloubech. Pořadí zapojování svalů při záběru dolních končetin směrem od hladiny by mělo zůstat zachováno a mělo by se lišit pouze v detailech.



Obr. 7 – Plavkyně B: dochází sice k podsazení pánve před záběrem dolními končetinami, ale část pohybu je přenesena do oblasti lumbální a thorakální páteře



U plavce označeného jako C – Obr.8 můžeme v pohybovém projevu pozorovat nedostatečnou retroverzi pánve, která by měla probíhat mezi pozicemi 3 – 5. V důsledku toho nemůže být pánev držena v retroverzi ani při dokončení záběru dolními končetinami. Klinické vyšetření prokázalo četné svalové dysbalance břišní stěny, kde byl značně přetížen m. rectus abdominis, odpovídající na charakter zatížení oboustranných M. iliopsoas. Dále pak m. obliquus abdominis externus v dolní části vpravo. Pánev byla mírně vybočena vlevo a rotována vlevo vpřed. Tato rotace pánve souvisí se skoliozou s vrcholem ve střední hrudní páteři. (sinistroskolioza Th přechodu) Insuficience břišní stěny je kompenzována zvýšenou aktivitou M. quadratus lumborum, paravertebrálními svaly v celém rozsahu bederní páteře až po střední hrudní páteř.

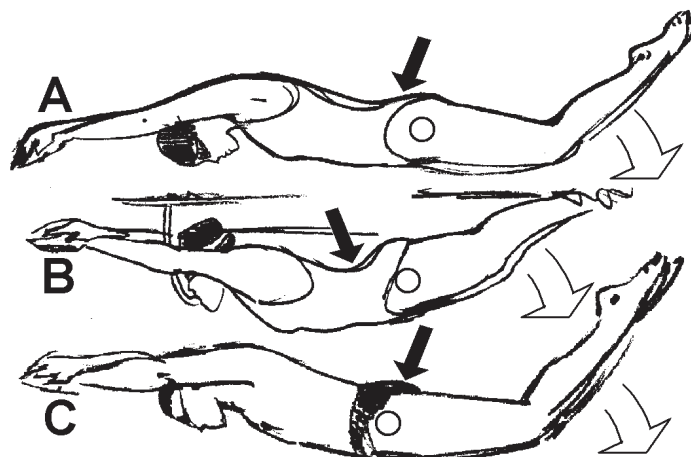
Obr. 8 - Plavec C: poloha pánve zůstává nezměněna, je tak oboustranně nadměrně zapojen posturálně přetížený M. iliopsoas s důsledky pro M. rectus abdominis. Pánev nepracuje, chybí retroverze před záběrem dolních končetin od hladiny i anteverze před záběrem k hladině

Závěr

Při neexistenci pevné opory ve vodním prostředí není možné při lokomoci pod vodou efektivně využít zkřížený kvadrupedální lokomoční vzor, který je součástí lidské pohybové ontogeneze. Předozadní vlnění jako nadstavba na vrozených pohybových programech musí být naučeno. Efektivní propulze je možno dosáhnout zvětšením akrálních částí dolních končetin pomocí ploutví. Organizace pohybu je podobná jako u vodních savců.

Při trvalejším zatížení výkonnostních plavců správná technika pohybu zamezí patologickým vlivům na pohybovou soustavu. Rozhodujícím bodem je schopnost překlopení pánve do retroverze při pohybu dolních končetin směrem od hladiny dolů ještě před dosažením extenze v kolenních kloubech a udržení této retroverze po celou zbývající dobu flexe v kyčelních kloubech. Před pohybem končetin k hladině do extenze obdobně pánev předbíhá záběr vzhůru překlopením do anteverze. Záběr dolních končetin do extenze není přitom tak intenzivní jako záběr do flexe v kyčelních kloubech.

Dominantním pracovním směrem záběru je pohyb dolních končetin od hladiny dolů, do flexe v kyčelních kloubech. Před prací extendovaných dolních končetin musí dojít k retroverzi pánve.



Obr. 9 - Pohyb do záběru od hladiny dolů je u plavkyně A LS přechod páteře, u plavkyně B Th – L přechod páteře a u plavce C kyčelní klouby. Optimální provedení je A

V této poloze stabilizovaná pánev je východiskem pro správnou techniku pohybu dolních končetin bez přetížení oboustranných M. iliopsoas. Ve správné poloze stabilizovaná pánev je také oporou pro vyslání propulzní vlny až do distálních částí horních končetin. Vzájemnou polohu kyčelního kloubu a příslušného stabilizovaného segmentu pro záběr od hladiny dolů ukazuje obr.9, přičemž za žádoucí provedení považujeme plavkyni A. Při dlouhodobé zátěži sportovců může mít omezení nastavení pánve do retroverze patologický vliv na pohybovou soustavu v oblasti pánve, dolních končetin a trupu.

K tomu dodává Véle (Véle, 2005, ústní sdělení): „Zásada fixního bodu, který může fungovat i jako virtuální oporný bod udržovaný aktivitou několika svalů, je společná pro každý lokomoční pohyb v jakémkoliv prostředí. Nelze ovšem mluvit o absolutním fixním bodu pánve, která se rovněž pohybuje, ale o relativně fixním segmentu, o který se dolní končetina opře, aby mohla vzniknout potřebná záběrová síla.“

Literatura:

- COLWIN, C., M. *Breakthrough Swimming*. 1. vyd. USA : Human Kinetics 2002.
- COX, C.B. The Amphibia - an evolutionary backwater. *Looking at animals again: contributions to a further understanding and investigation of some common animals*, s. 97 - 118. Londýn. Freeman 1966
- DEAN, M.H. *Fishes, living and fossil: an outline of their forms and probable relationships*. New York. Macmillan 1981
- EVANS, F.G. The morphological status of the modern Amphibia aminy the Tetrapoda. *Journal of Morphology*, 1946, č. 74, s. 43 - 100
- GRAY, J., LISSMANN, H.W. The coordination of limb movements in the Amphibia. *Journal of experimental Biology*, 1947, č. 23, s. 133 - 142
- HOFER, Z. a kol. *Technika plaveckých způsobů*. Praha. Karolinum 2000
- JANDA, V., POLÁKOVÁ, Z., VÉLE, F. *Funkce hybného systému*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství 1966.
- KOLÁŘ, P. The Sensomotor Nature of Postural Functions. Its Fundamental Role in Rehabilitation on the Motor System. *The Journal of Orthopaedic Medicine*, č. 2, 1999: s. 40-45.
- KRAČMAR, B. Exploitation of reflexive locomotion theory by qualitative analysis of sports activity. *Acta Universitatis Carolinae Kinantropologica*. Vol. 37, 2. 2001, s. 38 - 46.
- KRAČMAR, B. *Kineziologická analýza sportovního pohybu*. Praha. Triton 2002.
- KROBOT, A., MÍKOVÁ, M., BASTLOVÁ, P. Poznámky k vývojovým aspektům rehabilitace poruch ramene. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. Vol. 12, 2, 2004. s. 88 - 94.
- MAGLISCHO, E., W. *Swimming fastest*. 1. vyd. USA : Human Kinetics 2003.
- MARŠÁLEK, K. *Průběh kinematického řetězce lidského těla při plavání s monoploutví*. Praha, 1997, Diplomová práce, UK FTVS.
- ROMER, A.S.: *Vertebrate paleontology*. Chicago a Londýn. The University of Chicago Press 1967.
- SMOLÍK, P. Netradiční odstraňování chyb u plaveckého způsobu motýlek. *Aquasport a triatlon*. Vol. 1, 1999, č. 2, s. 12 - 13.
- TRAVEL, J. G., SIMONS, D. G. *Myofascial Pain and Dysfunction: the triggerpoint manual*. Vol. 1. Baltimore: Williams & Wilkins 1983.
- VACKOVÁ, P. *Fylogenetické souvislosti sportovní lokomoce*. Diplomová práce. Praha: UK FTVS v Praze 2004.
- VANČATA, V. *Evoluce lokomoce a lokomočního aparátu hominoidů: vznik a vývoj bipedie hominidů*. Kandidátská disertační práce. Praha: Oddělení evoluční biologie. Mikrobiologický ústav ČSAV 1981.
- VANČATA V. Ontogeny of Primate Locomotion and the Origin of Hominid Bipedality. *Folia Primatologica*, 67, 1996: 213 - 214.
- VÉLE, F. *Kineziologie posturálního systému*. Praha: Karolinum 1995.
- VÉLE, F. *Kineziologie pro klinickou praxi*. Praha: Grada Publishing 1997.
- VOJTA, V., PETERS, A. *Vojtův princip*. Praha: Grada Publishing. 1995.
- YOUNG, J. Z.: *The life of vertebrates*. Oxford: Clarendon Press 1981.

Pozn.: **Doc. PaedDr. Bronislav Kračmar, CSc.**

katedra sportů v přírodě UK FTVS Praha

Tomáš Dvořák

Klinika komplexní rehabilitace MONADA, Praha