

Rumpfbewegungen im Freistilschwimmen unter besonderer Betrachtung des Verletzungspotentials der Wirbelsäule

Trunk Movements in Freestyle Swimming with Particular Attention to the Injury Potential of the Spine

ACCEPTED: April 2017

PUBLISHED ONLINE: May 2017

DOI: 10.5960/dzsm.2017.282

Köhler H-P, Polenz C, Witt M.

Rumpfbewegungen im Freistilschwimmen unter besonderer Betrachtung des Verletzungspotentials der Wirbelsäule. Dtsch Z Sportmed. 2017; 68: 128-132.

1. UNIVERSITÄT LEIPZIG, Abteilung Biomechanik, Institut für Allgemeine Bewegungs- und Trainingswissenschaft, Sportwissenschaftliche Fakultät, Leipzig

Zusammenfassung

- › **Hintergrund:** Für den Vortrieb im Schwimmen leisten nicht nur die Extremitäten einen wichtigen Beitrag zur Generierung hoher Schwimgeschwindigkeiten, auch der Rumpf ist durch seine Funktion als Widerlager und Antriebsgenerator ein wichtiger Bestandteil der Antriebszeugung. Im Freistilschwimmen werden zwei unterschiedliche Technikvarianten unterschieden, die body-roll- und twist-technique. Bisher liegen nur wenige Untersuchungen zu den quantitativen Unterschieden beider Technikvarianten vor. Ziel dieser Untersuchungen war es, sensorbasiert Unterscheidungsmerkmale für die beiden Technikvarianten zu definieren und deren Veränderung mit zunehmender Schwimgeschwindigkeit zu quantifizieren.
- › **Methodik:** An den Untersuchungen nahmen 27 Sportler teil. Diese absolvierten fünf verschiedene Geschwindigkeitsstufen, wobei die Oberkörperbewegungen mit Hilfe mehrerer Inertialsensoren aufgezeichnet wurden.
- › **Ergebnisse:** Es wird deutlich, dass mit zunehmender Geschwindigkeit der Rotationsumfang der Schulter von 120° auf 95° abnimmt. Die Abnahme im Hüftsegment ist vergleichsweise größer (86° auf 48°). Die mittleren Rotationsgeschwindigkeiten nehmen für die Schulterrotation zu (125°/s auf 180°/s), die des Hüftsegments blieben gleich. Die Phasenverschiebung, als Ausdruck des Beginns der Umkehrbewegung, steigt mit zunehmender Geschwindigkeit von 0,04s auf 0,08s.
- › **Schlussfolgerungen:** Die gefundenen Ergebnisse ermöglichen keine klare Abgrenzung der beiden Technikvarianten. Sie zeigen vielmehr einen fließenden Übergang von der body-roll- zur twist-technique mit zunehmender Geschwindigkeit. Die twist-technique kann bei unzureichender muskulärer Absicherung als Variante mit einem höheren Verletzungspotential gekennzeichnet werden.

Summary

- › **Background:** While the contribution of the limbs to propulsion in freestyle swimming is well established, the important role of the trunk with its functions as support and impulse generator is often underestimated. Two different trunk movement techniques can be observed, the body-roll and the twist-technique. There is a lack of information about the quantitative differences between these two techniques. The aim of the study was to examine differentiation characteristics using sensor-based information and to observe changes with increasing speed.
- › **Methods:** 27 athletes took part in the study, swimming in five different speed ranges. Four inertial measuring units recorded their trunk movements.
- › **Results:** With increasing speed, the range of motion of the shoulder decreases from 120° to 95°. In addition, the range of motion of the hip decreases from 86° to 46°. The mean speed of rotation of the shoulder increases from 125°/s to 180°/s while rotation speed of the shoulder stays equal. The phase shift, as an expression of the gap of both segments changing the direction, increases from 0.04s to 0.08s.
- › **Conclusions:** The results did not provide evidence for a clear, distinct definition of the two techniques. Rather, here is a fluent transition with increasing speed from the body-roll to the twist-technique. The twist-technique, in combination with insufficient core stability, can represent an increased injury potential.



Article incorporates the Creative Commons Attribution – Non Commercial License.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



QR-Code scannen und Artikel online lesen.

KORRESPONDENZADRESSE:

Hans-Peter Köhler
 Universität Leipzig, Abteilung Biomechanik
 Institut für Allgemeine Bewegungs- und Trainingswissenschaft, Sportwissenschaftliche Fakultät, Jahnallee 59, 04109 Leipzig
 ✉: hans-peter.koehler@uni-leipzig.de

SCHLÜSSELWÖRTER:

Freistilschwimmen, Rumpfbewegungen, Inertialsensoren, Rumpfstabilität, Wirbelsäulenverletzung

KEY WORDS:

Freestyle Swimming, Trunk Movements, Inertial Measuring Unit, Core Stability, Spine Injury

Einleitung

Um eine möglichst große Vortriebsgeschwindigkeit zu erreichen, ist es im Kraulschwimmen notwendig, die Antriebsbewegungen der oberen optimal mit denen der unteren Extremität zu koordinieren. Der Rumpf dient dabei einerseits als Widerlager für die Extremitätenbewegung und andererseits selbst als Antriebsgenerator für die Bewegung. Bis zu 74% der Bewegungsbahn der Hand wird durch die Be-

wegung der Schulter generiert (4, 10, 12). Weiterhin trägt die Rotation des Rumpfes zur Erleichterung der Atmung bei und wird mit einer Minimierung des Wasserwiderstandes (2) sowie der Minimierung des Verletzungsrisikos im Schulterbereich in Verbindung gebracht (14, 18). Für die Kopplung der Extremitätenbewegungen über den Rumpf sind aus bewegungswissenschaftlicher Sicht zwei

unterschiedliche Varianten von Interesse. In der sogenannten body-roll-technique wird eine Ganzkörperrotation um die Längsachse des Oberkörpers ausgeführt. Das Gegenstück bildet die twist-technique oder Verwindungstechnik, bei der die Hüfte dem Oberkörper voraus rotiert und somit, wie auch in den leichtathletischen Wurfdisziplinen üblich, zu einer Verwindung zwischen beiden Körpersegmenten führt. Bei der letztgenannten Technik wird durch die Drehung der Körpersegmente gegeneinander eine Vorspannung aufgebaut, die die Arbeitsbedingungen für die Muskulatur des Rumpfes und die Umströmungsbedingungen des Körpers verbessern kann (9, 17).

Aus sportmedizinischer Sicht ist die twist-technique nicht ganz unbedenklich. Durch die gegenläufige Rotation der Hüft- und Schulterachse im Bereich der Umkehrpunkte kommt es zu einer erhöhten Torsionsbelastung auf die Wirbelsäule insbesondere am Übergang L5-S1 (5, 6, 13). Kaneoka et al. konnten nachweisen, dass 83% der an ihrer Studie teilnehmenden leistungsorientierten Freistilschwimmer degenerative Erscheinungen der Zwischenwirbelscheiben zeigten – deutlich mehr als in allen anderen Schwimmdisziplinen (5). Ein weiterer Risikofaktor ist neben der Schwimmtechnik der Umfang des Trainings. In der gleichen Untersuchung zeigte sich, dass die Prävalenz einer Rückenverletzung auch deutlich vom Schwimmumfang abhängig ist. Während 29% der Freizeitschwimmer aller Schwimmarten an degenerativen Erscheinungen der Wirbelsäule litten, waren es 68% der leistungsorientierten Sportler (5).

Problem und Zielstellung

Die Rumpfbewegungen wurden aufgrund aufwendiger Untersuchungsverfahren im Freistilschwimmen bisher noch nicht detailliert beschrieben. Mit dem Einsatz von Inertialsensoren kann die Datenerfassung deutlich erweitert werden. Insbesondere soll mit der vorgelegten Untersuchung geklärt werden, welche Bewegungsamplituden und -geschwindigkeiten bei den beiden Technikvarianten von Experten realisiert werden und wie sie sich in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit verändern.

Material und Methoden

Probanden

An den Untersuchungen nahmen insgesamt 27 Sportler (15w/12m) aus dem Jugend- und Anschlussbereich des Deutschen Schwimmverbandes teil. Sie waren im Mittel 16,2±2,0 Jahre alt, 178±11,1cm groß und 66,7±11,8kg schwer. Als Hauptschwimmart gaben 13 der teilnehmenden Sportler eine Gleichschlagschwimmart (Schmetterling, Brust) und 14 Sportler eine Wechselzugschwimmart (Freistil, Rücken) an. 9 Athleten waren der Langstrecke (>200m) und 18 Sportler der Kurzstrecke zuzuordnen. Zur Zeit der Datenaufnahme lagen keine Verletzungen bzw. Erkrankungen vor.

Testaufbau und -ablauf

Für die Datenaufnahme erfolgte die Entwicklung und Evaluation eines wasserfesten Inertialmesssystems (Fa. 2D Debus&Diebold Meßsysteme GmbH) und einer zweckmäßigen Auswertroutine (8). Die Sensoren wurden übereinstimmend mit der Körperlängsachse der Probanden an folgenden Punkten angebracht: Pars thoracica 2, Pars thoracica 5, Pars thoracica 12 und Os sacrum. Die Befestigung der Sensorik erfolgte mittels Kinesiotape, alle Kabel und Sensoren wurden derart angebracht, dass sie dem Wasser möglichst wenig Angriffsfläche entgegenbrachten.

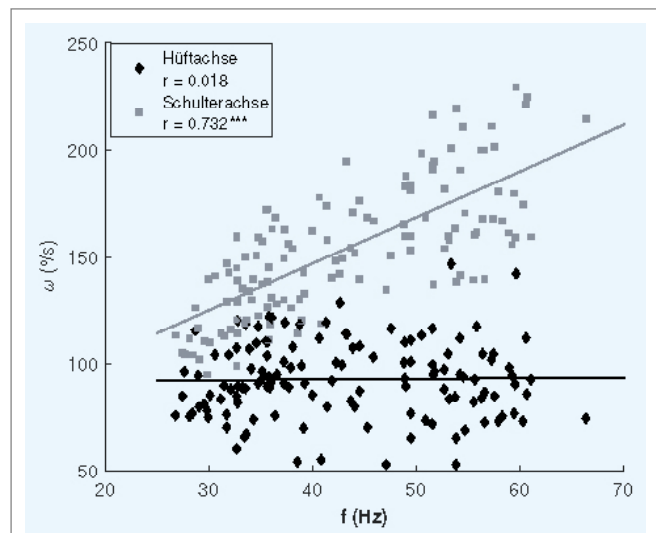


Abbildung 1

Abhängigkeit der mittleren Rotationsgeschwindigkeit ($\Delta\omega$) beider Körpersegmente von der Zyklusfrequenz (Angabe des Korrelationskoeffizienten mit Signifikanzniveau, *** $p < .001$).

In die spätere Auswertung flossen die Sensordaten des erst und zuletzt genannten Sensors ein. Das Messsystem zeichnete die Daten mit einer Abtastrate von 500Hz auf.

Nach einer individuellen Erwärmung im regulären Trainingsbetrieb absolvierten die Probanden ein Testprogramm in fünf unterschiedlichen Geschwindigkeitsstufen (Grundlagenausdauer I und II=GA I, GA II; Schnelligkeitsausdauer=SA; Wettkampfausdauer=WA; Sprint=S). Den Sportlern wurden keine Technikanweisungen gegeben, diese sollten ihre erlernte Freistiltechnik schwimmen. Anhand der persönlichen Bestzeiten über 200m Freistil erfolgte die Definition entsprechender Zielkorridore für die zu erreichenden Geschwindigkeiten. Die Geschwindigkeitsbereiche orientierten sich an dem Stufentest im Rahmen der Leistungsdiagnose Schwimmen:

1. GAI-Bereich	75 %	1,12-1,28ms ⁻¹
2. GAII-Bereich	85 %	1,28-1,44ms ⁻¹
3. SA-Bereich	95 %	1,52-1,68ms ⁻¹
4. WA-Bereich	100 %	1,44-1,52ms ⁻¹
5. S-Bereich		maximale Geschwindigkeit

Die realisierten Geschwindigkeiten wurden durch eine Handzeitnahme ermittelt (vgl. Tab. 1). Alle Stufen bis auf S (15m) wurden über eine Strecke von 50m mit Abstoß vom Beckenrand absolviert. Zwischen den Stufen konnte eine individuelle Pause eingelegt werden, die Mindestlänge betrug 3 Minuten.

Auswertung

Für die Auswertung der aufgezeichneten Daten wurde ein semi-automatischer Algorithmus entwickelt (8). Am Ende der Auswertprozedur, in der das Winkelgeschwindigkeitssignal in Einzelzyklen aufgeteilt und nach Links- und Rechtsdrehung getrennt wurde, standen für die Bewegungen der Schulter- und Hüftachse die maximalen (ω_{\max} (°/s)) und durchschnittlichen ($\Delta\omega$ (°/s)) Winkelgeschwindigkeiten sowie die maximalen Rotationswinkel (γ (°)) und der Phasenversatz (φ (s)) zur Verfügung. Der Phasenversatz spiegelt dabei den zeitlichen Unterschied zwischen dem Hüft- und Schultersegment wider, mit dem die beiden Segmente die Umkehrbewegung beginnen. >

Tabelle 1

Überblick über die Segmentparameter (ω_{\max} , $\Delta\omega$, γ) der beiden Körpersegmente sowie der globalen Zyklusparameter (φ , v , f) und deren Entwicklung in den verschiedenen Geschwindigkeitsstufen. Die Angaben erfolgen als $\mu \pm \sigma$. Die Indizes symbolisieren die Geschwindigkeitsstufen, zu denen signifikante Unterschiede ($p < .05$) im post-hoc Test festgestellt wurden: ^a=GAI; ^b=GAI; ^c=SA; ^d=WA; ^e=S. GA I, GA II=Grundlagenausdauer I, II; SA=Schnelligkeitsausdauer; WA=Wettkampfausdauer; S=Sprint.

		GAI	GAI	SA	WA	S
Schulter	ω_{\max} (°/s)	233,51±46,59 ^{c,d,e}	254,6±45,90 ^{d,e}	293,75±55,67 ^{a,d,e}	349,69±61,93 ^{a,b,c}	368,72±70,49 ^{a,b,c}
	$\Delta\omega$ (°/s)	125,62±19,66 ^{c,d,e}	137,03±18,91 ^{d,e}	153,43±22,50 ^{a,d,e}	171,35±23,55 ^{a,b}	180,26±27,23 ^{a,b,c}
	γ (°)	120,72±14,40 ^{d,e}	118,72±14,97 ^{d,e}	112,98±13,68 ^{d,e}	100,75±12,47 ^{a,b,c}	95,10±13,76 ^{a,b,c}
Hüfte	ω_{\max} (°/s)	183,62±34,52	194,97±35,32	210,34±43,16	207,75±43,22	213,58±51,93
	$\Delta\omega$ (°/s)	89,21±15,43	94,68±16,72	98,21±17,48	94,01±18,54	89,86±20,14
	γ (°)	86,46±15,24 ^{c,d,e}	82,32±14,06 ^{d,e}	72,99±14,27 ^{a,d,e}	55,81±10,34 ^{a,b,c}	48,16±10,83 ^{a,b,c}
Zyklusparameter	φ (s)	0,039±0,021 ^{d,e}	0,038±0,016 ^e	0,053±0,034	0,074±0,048 ^a	0,082±0,052 ^{a,b}
	v (ms ⁻¹)	1,34±0,10 ^{d,e}	1,44±0,11 ^e	1,52±0,24 ^e	1,71±0,12 ^{a,d}	1,95±0,14 ^{a,b,c,d}
	f (Hz)	31,18±2,79 ^{b,c,d,e}	34,82±2,31 ^{a,c,d,e}	40,74±3,54 ^{a,b,d,e}	51,01±3,14 ^{a,b,c,e}	57,19±3,47 ^{a,b,c,d}

Für die statistische Aufbereitung erfolgte die Bestimmung der Gruppenmittelwerte (μ) und der zugehörigen Standardabweichung (σ) für die jeweiligen Stufen. Da eine Geschwindigkeitserhöhung im Schwimmen vorrangig über die Erhöhung der Zyklusfrequenz realisiert wird (19) erfolgte neben der Unterschiedsprüfung (Signifikanzniveau $p < .05$) zwischen den verschiedenen Stufen zusätzlich die Zusammenhangsprüfung mit der ermittelten Zyklusfrequenz auf Basis der Bravais-Pearson-Korrelation. Die Unterschiedsprüfung zwischen den unterschiedlichen Geschwindigkeitsstufen erfolgte mittels einfaktorieller ANOVA. Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf $\alpha = .05$ festgelegt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Im Folgenden werden nur die Ergebnisse der globalen Varianzanalyse angegeben, die Unterschiede zwischen den verschiedenen Stufen sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Die Analyse der Schwimmstufen ergab, dass sich die einzelnen Geschwindigkeitsbereiche sowohl in Schwimmgeschwindigkeit ($F(4,135)=16.706$, $p < .001$) als auch Bewegungsfrequenz ($F(4,126)=328.462$, $p < .001$) statistisch signifikant unterscheiden. Die Überprüfung des Zusammenhangs der Schwimmgeschwindigkeit mit der Frequenz der Oberkörperbewegungen ergab eine positive, signifikante Korrelation ($r = .884$, $p < .001$).

Die Hauptergebnisse der Segmentbewegungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Für die Schulterachse kommt es zu einem deutlichen Anstieg von ω_{\max} und $\Delta\omega$. Die Unterschiede zwischen den Stufen sind sowohl für ω_{\max} ($F(4,127)=26.665$, $p < .001$) als auch $\Delta\omega$ ($F(4,127)=26.888$, $p < .001$) signifikant.
- Die Rotationsgeschwindigkeit der Hüftachse ist gegenüber der Schulterachse deutlich geringer. ω_{\max} steigt bei Erhöhung der Schwimmgeschwindigkeit nur gering, $\Delta\omega$ bleibt auf einem ähnlichen Niveau (vgl. Abb. 1). Die statistische Überprüfung ergab sowohl für ω_{\max} ($F(4,127)=2.313$, $p = .061$) als auch $\Delta\omega$ ($F(4,127)=1.166$, $p = .329$) keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Stufen.
- Sowohl für die Hüft- ($F(4,127)=42.422$, $p < .001$) als auch die Schulterachse ($F(4,127)=17.334$, $p < .001$) kommt es über alle Geschwindigkeitsstufen zu einer statistisch signifikanten Abnahme der Rotationswinkel. Die Abnahme für die Hüftachse ist vergleichsweise größer (vgl. Abb. 2).
- Mit zunehmender Geschwindigkeit in den verschiedenen Schwimmstufen kommt es zu einem Anstieg der Phasenver-

schiebung: Die Drehung der Hüftachse setzt vor der Schulterachse ein, wobei sich dieser zeitliche Unterschied zwischen allen Stufen statistisch signifikant unterscheidet ($F(4,111)=5.791$, $p = .001$) (vgl. Abb. 3).

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass entgegen der Erwartung die Sportler nicht eindeutig einer Technikvariante zuzuordnen sind. Vielmehr zeigte sich mit Geschwindigkeitserhöhung ein fließender Übergang zwischen den beiden Technikvarianten. Durch die Erhöhung der Zyklusfrequenz wird die zur Verfügung stehende Bewegungszeit begrenzt. Die Bewältigung dieses Zeitzwangs unterscheidet sich in Hüft- und Schulterachse. Die Bewegungsamplitude der Hüfte verringert sich, deshalb bleibt die Rotationsgeschwindigkeit nahezu konstant. Die Hüfte erreicht eine stabilere Position im Wasser. Die für das Bewegungsausmaß der Hüfte gefundenen Werte liegen dabei in bereits berichteten Größenordnungen (11, 14, 15, 16).

Im Schultersegment erhöht sich demgegenüber die mittlere Winkelgeschwindigkeit, verbunden mit einer starken Zunahme der maximalen Winkelgeschwindigkeit. Insgesamt wird hier zwar auch das Bewegungsausmaß reduziert, jedoch geringer als in der Hüftachse. Auch hier liegen die Werte in bereits berichteten Größenordnungen (2, 11, 15, 22). Sanders und Psycharakis machen für die größere Abnahme der Bewegungsamplitude im Hüftsegment die Zunahme der Beinaktivität mit steigender Frequenz verantwortlich. Sie stellten fest, dass mit steigender Geschwindigkeit die Kick-Aktivität der Beine die gleiche Bewegungsamplitude in kürzerer Zeit durchläuft. Sie leiteten daraus ab, dass die dadurch entstehenden Reaktionskräfte die Hüftbewegungen dämpfen und somit für eine stabilere Hüftposition sorgen (16).

Durch die divergente Abnahme der Rotationswinkel mit zunehmender Frequenz kommt es zwangsläufig zu einer Vergrößerung der Phasendifferenz zwischen beiden Segmenten, die sich messtechnisch vor allem in der Erhöhung des Phasenversatzes äußert. Durch die geringere Bewegungsamplitude der Hüftachse erreicht diese ihren Umkehrpunkt eher und beginnt somit zeitiger mit der Umkehrbewegung. Dies schafft aus antriebs-mechanischer Sicht deutlich bessere Voraussetzungen für die skelettmotorischen Antriebe. Durch die Drehung beider Segmente in unterschiedliche Richtungen an den Umkehrpunkten kommt es zum Aufbau und zur Ausnutzung von Vorspannung in diagonal arbeitenden Muskelschlingen (17). Zusätzlich durchgeführte Gruppenanalysen zeigten einen systematischen Anstieg der Phasendifferenz bis hin zu den

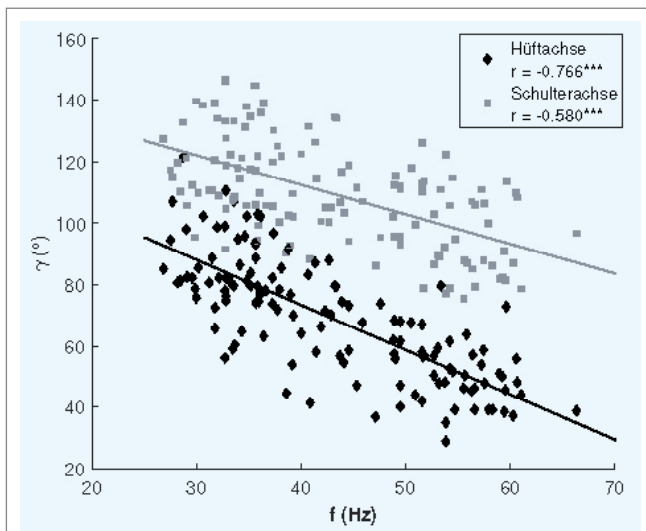


Abbildung 2

Abhängigkeit der Bewegungsamplitude beider Körpersegmente (γ) von der Zyklusfrequenz (Angabe des Korrelationskoeffizienten mit Signifikanzniveau, *** $p < .001$).

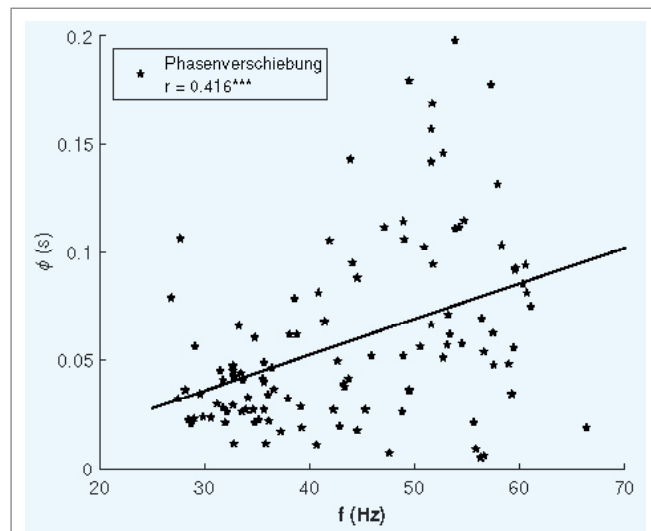


Abbildung 3

Abhängigkeit der Phasendifferenz ϕ zwischen Hüft- und Schulterachse von der Zyklusfrequenz (Angabe des Korrelationskoeffizienten mit Signifikanzniveau, *** $p < .001$).

höchsten Schwimgeschwindigkeiten/-frequenzen vor allem für die Sprinter. Die Langstreckler hingegen lassen keine klare Tendenz für den Abfall oder Anstieg der Phasendifferenz erkennen. Dies spricht dafür, dass durch das spezifische Training und die dadurch gestellten Anforderungen ein entsprechendes Bewegungsmuster ausgebildet wird.

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass sich mit zunehmender Intensität die Mechanik der Rumpfbewegungen ändert und sich von der body-roll- hin zur twist-technique umformt. Diese Veränderung der Technik und die damit verbundene Ausnutzung erweiterter mechanischer Wirkungsmechanismen gestalten sich somit als eine Veränderung der Belastung an den Umkehrpunkten der Rumpfbewegungen. Verbunden mit den erhöhten Winkelgeschwindigkeiten des Oberkörpers und der dafür nötigen Antriebskräfte könnten somit erhöhte Belastungen an den Umkehrpunkten der Bewegung angenommen werden. Diese Veränderung der Mechanik wäre ein Erklärungsmodell für die erhöhte Verletzungsprävalenz bei leistungsorientierten Schwimmern, so wie es auch Kaneoka et al. beschreiben (5).

Ein weiterer Risikofaktor, der in der Vergangenheit vermehrt nachgewiesen wurde, ist die ungenügende muskuläre Absicherung des Rumpfes bei leistungsorientierten Schwimmern (3, 20). Verschiedene Autoren betrachten die Abschwächung von Muskelgruppen als beträchtlichen Risikofaktor für die Zwischenwirbelscheiben (6, 7). Somit lässt sich die Verbindung zwischen diesen muskulären Schwächen und den mechanischen Anforderungen des Rumpfes zur Erhöhung der Schwimgeschwindigkeit als deutliches Risiko einstufen. Es ist demnach erforderlich, dass eine entsprechende muskuläre Absicherung des Rumpfes erfolgen muss, um einerseits die Belastbarkeit zu sichern und um zum anderen die Vortriebswirksamkeit des Rumpfes zu gewährleisten. Da ein Großteil der Beweglichkeit der Wirbelsäule über die Brustwirbelsäule gewährleistet wird (7, 21), ist einer Hyperkyphosierung der Brustwirbelsäule, wie sie bereits vermehrt im Nachwuchsschwimmsport festgestellt werden kann (3), zu vermeiden, da diese eine Bewegungseinschränkung in der Rotation nach sich ziehen kann (1). Eine solche Einschränkung würde zu einer größeren Belastung bzw. Überlastung in anderen Wirbelsegmenten führen.

Fazit

Ein gezieltes Rumpfkrafttraining, vor allem in den bewegungsspezifischen Ebenen ist eine grundlegende Voraussetzung für die Gewährleistung der Wirksamkeit der Rumpfantriebe. Weiterhin ist durch gezieltes Training der Rumpfmuskulatur auf die Belastbarkeit im Sinne der Aufrechterhaltung der Wirbelsäulenstabilität und -mobilität zu achten und durch entsprechende Haltungsförderung zu sichern. ■

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen:
Dieses Projekt wurde mit Forschungsmitteln des Bundesinstituts für Sportwissenschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- (1) **BÖHNI U.** Klinische Bilder, klinische Diagnostik und Differenzialdiagnose. In: Böhni U, Laupert M, Locher H, Hrsg. Manuelle Medizin 1 - Fehlfunktionen und Schmerzen am Bewegungsorgan verstehen und behandeln. 2. überarb. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2015: 477-487.
- (2) **CASTRO FAS, VILAS-BOAS JP, GUIMARAES ACS.** Effects of swimming intensity and breathing in front crawl body roll angles for swimmers and triathletes. *Brazilian Journal of Biomechanics.* 2006; 7: 85-90.
- (3) **FRÖHNER G.** Sportmedizinische Ratschläge für die Belastbarkeitssicherung im Nachwuchsleistungssport. Teil 11: Ausdauersportarten - Ausgewählte Sommersportarten. *Leistungssport.* 2009; 39: 38-43.
- (4) **HAY G, LIU Q, ANDREWS J.** Body Roll and Handpath in Freestyle Swimming: A Computer Simulation Study. *J Appl Biomech.* 1993; 9: 227-237. doi:10.1123/jab.9.3.227
- (5) **KANEOKA K, SHIMIZU K, HANGAI M, OKUWAKI T, MAMIZUKA N, SAKANE M, OCHIAI N.** Lumbar Intervertebral Disk Degeneration in Elite Competitive Swimmers: A Case Control Study. *Am J Sports Med.* 2007; 35: 1341-1345. doi:10.1177/0363546507300259
- (6) **KENAL KAF, KNAPP LD.** Rehabilitation of Injuries in Competitive Swimmers. *Sports Med.* 1996; 22: 337-347. doi:10.2165/00007256-199622050-00007
- (7) **KLEIN P, SOMMERFELD P.** Biomechanik der Wirbelsäule. München: Urban & Fischer; 2007.
- (8) **KÖHLER H-P, SCHMID J, DOBNER H-J, WITT M.** Entwicklung und Evaluation eines Systems zur Erfassung der Rumpfbewegungen im Schwimmen. In: Fichtner I, Hrsg. Technologien im Leistungssport 2: Tagungsband zur 18. Frühjahrsschule am 13./14.4.2016 in Leipzig. Aachen: Meyer&Meyer; 2017: 187-196.
- (9) **KÜCHLER J.** Physikalische Grundlagen des Schwimmens - Trainerhandmaterial. In: Freitag W, Hrsg. Schwimmen lernen und optimieren - Band 37. Wuppertal: Deutsche Schwimmtrainer Vereinigung; 2015: 7-20.
- (10) **LIU Q, HAY JG, ANDREWS JG.** Body Roll and Handpath in Freestyle Swimming: An Experimental Study. *J Appl Biomech.* 1993; 9: 238-253. doi:10.1123/jab.9.3.238
- (11) **MCCABE CB, PSYCHARAKIS S, SANDERS R.** Kinematic differences between front crawl sprint and distance swimmers at sprint pace. *J Sports Sci.* 2011; 29: 115-123. doi:10.1080/02640414.2010.523090
- (12) **PAYTON C, BALTOPOULOS V, BARLETT R.** Contributions of rotations of the trunk and upper extremity to hand velocity during front crawl swimming. *J Appl Biomech.* 2002; 18: 243-256. doi:10.1123/jab.18.3.243
- (13) **POLLARD H, FERNANDEZ M.** Spinal Musculoskeletal Injuries Associated with Swimming: A Discussion of Technique. *Australas Chiropr Osteopathy.* 2004; 12: 72-80.
- (14) **PSYCHARAKIS SG, SANDERS RH.** Body roll in swimming: a review. *J Sports Sci.* 2010; 28: 229-236. doi:10.1080/02640410903508847
- (15) **PSYCHARAKIS SG, SANDERS RH.** Shoulder and hip roll changes during 200-m front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc.* 2008; 40: 2129-2136. doi:10.1249/MSS.0b013e31818160bc
- (16) **SANDERS RH, PSYCHARAKIS SG.** Rolling rhythms in front crawl swimming with six-beat kick. *J Biomech.* 2009; 42: 273-279. doi:10.1016/j.jbiomech.2008.10.037
- (17) **SCHNABEL G.** Allgemeine Bewegungsmerkmale als Ausdruck der Bewegungskoordination. In: Meinel K, Schnabel G, Hrsg. Bewegungslehre - Sportmotorik. 11., überarb. Aachen: Meyer&Meyer; 2007: 72-143.
- (18) **WELDON EJ, RICHARDSON AB.** Upper Extremity Overuse Injuries in Swimming. *Clin Sports Med.* 2001; 20: 423-438. doi:10.1016/S0278-5919(05)70260-X
- (19) **WITT M.** Antriebsgestaltung bei zyklischen Bewegungen: Unter besonderer Beachtung der oberen Extremitäten. Hamburg: Verlag Dr. Kovac; 2008.
- (20) **WITT M.** Krafttraining des Schwimmers. In: Madsen Ö, Reischle K, Rudolph K, Wilke K, Hrsg. Wege zum Topschwimmer Band 3 - Hochleistungstraining. Schorndorf: Hofmann-Verlag; 2014: 156-173.
- (21) **WURZINGER LJ.** Wirbelsäule. In: Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, Mense S, Reißig D, Salvetter J, Schmidt W, Schmitz F, Schulte E, Spanel-Borowski K, Wennemuth G, Wolff W, et al., Hrsg. Anatomie. 3. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014: 247-269. doi:10.1055/b-002-99154
- (22) **YANAI T.** What Causes the Body to Roll in Front-Crawl Swimming? *J Appl Biomech.* 2001; 17: 28-42. doi:10.1123/jab.17.1.28