

先天性横軸形成障害(前腕欠損)を有する
パラ水泳選手の身体特性に関する研究
—スポーツ傷害の予防と競技力向上を目的とした基礎調査—

国際医療福祉大学 志村 圭太
(共同研究者) 一般社団法人 小泉 圭介
日本身体障がい者水泳連盟
国立スポーツ科学センター 吉沢 剛
現所属: 緑園ゆきひろ整形外科クリニック

**Characteristics of Physique, Static Posture, and Shoulder Range of Motion in Japanese
Elite Para Swimming Athletes with Unilateral Congenital upper Limb Deficiency
—A Basic Research for The Prevention of Sports Injury and Improving Sports Performance—**

by

Keita Shimura

*School of Physical Therapy at Narita campus,
International University of Health and Welfare*

Keisuke Koizumi

Japanese Para-Swimming Federation

Tuyoshi Yoshizawa

Japan Institute of Sports Sciences

(Present affiliation: Ryokuen Yukihiro Orthopedic Clinic)

ABSTRACT

Purpose: To clarify the characteristics of physique, static posture, and shoulder range of motion in Japanese elite para swimming athletes with unilateral congenital upper limb deficiency.

Method: Participants were six Japanese elite para-swimming athletes with unilateral congenital upper limb deficiency. Height, body mass, upper arm length, forearm length,

maximum brachial circumference, shoulder range of motion, inter-elbow distance, shoulder rotary distance, heel-buttock distance and stream line posture were evaluated. The shoulder range of motion was compared to the general normal range of motion, and asymmetry was confirmed by an existence of side to side difference. Streamline posture of each participant was qualitatively evaluated.

Result: Since the range of motion in flexion was restricted in five participants and internal rotation in the deficient limb were more restricted in all participants as well as extension and external rotation in five subjects than the sound side, side to side difference was observed. Inter-elbow distance which reflects flexibility of the shoulder complex was greater when deficient limb was at the upper side in all participants. Excessive lumbar extension in three participants and inadequate shoulder flexion in the streamline position were observed in five participants.

Conclusion: Physical characteristics of Japanese elite para swimming athletes with unilateral congenital upper limb deficiency is represented the restricted range of motion in shoulder flexion and internal rotation of the deficient limb. Educational physiotherapy intervention may be required to gain ideal streamline posture, to increase propulsion force, and to prevent swimmer's shoulder.

要 旨

目的：先天性片側前腕欠損を有するパラ水泳選手の身体特性を明らかにし、競技力向上のためのトレーニングやスポーツ外傷および障害予防のための基礎資料とする。

方法：先天性片側前腕欠損の日本人パラ水泳選手6名を対象とした。身長、体重、上腕長、断端長、上腕最大周径、肩関節可動域、肘間距離、肩回旋幅、踵臀距離を測定し、デジタルカメラで静止立位でのストリームライン姿勢を矢状面から撮影した。各選手の関節可動域を正常可動域と比較し、左右差をもとに非対称性を検討し、ストリームライン姿勢を質的に分析した。

結果：上腕最大周径は全ての対象者において欠損側で小さかった。欠損側の肩関節屈曲可動域制限が5名の対象者に、内旋可動域制限が全対象者に認められ、全対象者の肩関節可動域に左右差が

生じていた。ストリームライン姿勢の質的分析では過度な腰椎前弯を呈する者が3名、欠損側上肢が最大挙上位に達していない対象者が3名認められた。

結論：先天性片側前腕欠損選手の身体的特徴は、欠損側の肩関節可動域制限および健側との左右差に現れることが明らかとなった。

緒 言

先天性前腕欠損は先天性横軸形成障害のひとつであり、生下時より上腕あるいは前腕より末梢が欠損する先天性疾患である¹⁾。上腕欠損の場合は肩関節、前腕欠損の場合は肩関節および肘関節の機能は通常正常である。本邦において大規模な疫学調査は実施されておらず、発症率は1年あたり10～15名前後と考えられている²⁾。上肢欠損という整容面での障害のみならず、身体の対称性が保持できないことで側弯症やその他の姿勢異常お

よび骨格異常をきたす医学的側面, また乳児期より上肢を用いて這うことや楽器の演奏ができない等, 文化的な生活を営む側面での障害を認め, 合併奇形や精神発達遅延を伴うことはまれである²⁾.

義手を使用していない先天性前腕欠損者の欠損側上肢は, 日常生活において使用頻度が減少していると考えられる. 幼少期からの成長過程において, 欠損側だけでなく非欠損側においても鉄棒などに両手でぶら下がることや, 跳び箱に両手をつくことなど健常者と同様にはできず, 非欠損側の使用も異なると推察される. 実際に, 先天性前腕欠損者の姿勢や動作を観察すると, 肩甲骨周囲や体幹の筋量の左右差, 上肢の挙上動作での欠損側と非欠損側での速度の違いなど, 健常者と異なる特徴が観察される. 森田ら³⁾は上肢切断者において欠損部分の質量損失と切断側上肢の残存部位の使用頻度減少による筋質量の減少と非切断側上肢の補填的使用による筋質量の増加によって, 健常者の左右質量差よりも大きな差が生じる可能性があるとして報告している. 以上より, 先天性前腕欠損者の上肢機能は左右で異なることが推察される.

障がい者スポーツのひとつであるパラ水泳は, 一般の競泳競技規則に準じて行われるが, 選手の有する障がいの種類, 程度, 運動機能によりクラス分けされ, クラスごとに競技を行う. 先天性片側前腕欠損のパラ水泳選手は, 肢体不自由におけるS9というクラスで競技する. 競技規則上, これらの選手はほぼすべての種目において欠損側を使用して健側と同様のフォーム泳ぐことが求められる⁴⁾. Leeら⁵⁾は, 片側前腕欠損者の健側のストロークと健常者の利き腕のストロークの推進力に違いがみられないことを報告した. 片側前腕欠損者の健側と患側の機能は大きく異なると推察されるが, 左右差を調節ながらストローク動作を行い, 推進していると考えられる.

このように, 先天性前腕欠損のパラ水泳選手の

泳動作は健常水泳選手と異なり, 左右の上肢機能も異なると考えられるため, 肩複合体機能, 体格, 姿勢など, 競泳のパフォーマンスに関わる身体機能を評価することが, 競技力向上のためのトレーニングやスポーツ障害予防策を考案および実施するにあたり重要だと考えられる. しかし, 先行研究において先天性前腕欠損のパラ水泳選手の基本的な身体特性について言及しているものは少ない. 本研究の目的は, 先天性片側前腕欠損選手の体格, 姿勢, 肩関節可動域の特徴を明らかにし, 競技力向上のためのトレーニングやスポーツ障害予防介入のための基礎データとして提示することである.

1. 研究方法

S9クラスで競技する先天性片側前腕欠損の日本人エリートパラ水泳選手6名(男性1名, 女性5名; 強化指定選手3名, 育成指定選手3名; 右前腕欠損4名, 左前腕欠損2名; 年齢16~27歳)を対象とした(表1).

表1 対象者の基本属性

対象者	年齢(歳)	性別	選手区分 [†]
A	27	男性	強化
B	22	女性	育成
C	21	女性	強化
D	16	女性	育成
E	18	女性	育成
F	16	女性	強化

[†]強化: 一般社団法人日本身体障がい者水泳連盟が認定した強化指定選手

育成: 一般社団法人日本身体障がい者水泳連盟が認定した育成指定選手

体格を評価する項目として, 身長, 体重, 上肢長, 断端長, 上腕最大周径を測定した.

肩関節屈曲, 伸展, 肩関節第二肢位での内旋および外旋可動域はゴニオメーターを用いて2名の理学療法士により測定された.

柔軟性テストとして, 肘間距離, 肩回旋幅, 踵臀距離を測定した. 肘間距離は, 笠原ら⁶⁾の考案した指椎間距離測定法を, 片側前腕欠損者のため

に一部修正して実施した。立位で結帯動作のように一側上肢を伸展および内旋位で背側へ回し拳または断端を脊柱に沿わせ、対側上肢を結帯動作のように外転外旋させ拳または脊柱に沿わせ、可能な限り量上肢末端を近づけた時の両肘間距離をメジャーテープで測定した。肩回旋幅は、成田ら⁷⁾が考案した方法を前腕欠損者のために一部修正して実施した。立位でロープの一方を健側手で把持し、他方を欠損側の断端に巻き付け、対象者自身が肘を伸ばしたまま両上肢を頭上から後方へと旋回することができた際の健側手内側と断端内側の距離を、メジャーテープにより1cm刻みで評価した。踵臀距離は、対象者に腹臥位をとらせ、検者1名が他動的に対象者の膝関節を屈曲させ、もう1名の検者が最終可動域における踵と臀部の距離をメジャーテープで測定した。姿勢評価はデジタルカメラを用い、より対象者に静止立位において競泳における「蹴伸び」の姿勢（以下、ストリームライン姿勢）をとらせて左右の矢状面から撮影した。

データ分析では、各選手の肩関節可動域を正常可動域と比較するとともに左右差の有無を検討し

た。また、デジタルカメラで撮影したストリームライン姿勢の写真をHavriluk⁸⁾の報告で理想的なストリームラインとされる姿勢と比較して分析し、肩関節可動域および柔軟性測定値との関係を考察した。なお、理想的なストリームラインとは腰椎前弯が少なく、身体を可能な限り一直線に保持して水中抵抗を少なくしたものである⁸⁾。

本研究は、国際医療福祉大学研究倫理審査委員会の承認を得て実施された（承認番号17-Io-158）。また、対象者には本研究の内容について事前に研究代表者が書面および口頭で説明し、書面にて同意を得た。

2. 研究結果

対象者の体格を表2に示す。すべての対象者において前腕長は欠損側で短く、5.5～10.9cm（健側比18～37%）だった。上腕最大周径はすべての対象者において欠損側で小さく、22.3～30cm（健側比84～95%）だった。

肩関節可動域を表3に示す。5名の対象者で欠損側の肩関節屈曲可動域制限が認められた。肩関節内旋可動域では、すべての対象者において欠損

表2 対象者の体格、欠損側、前腕長、最大上腕周径

対象者	身長(cm)	体重(kg)	欠損側	前腕長(cm)(%)*		上腕最大周径(cm)(%)*	
				R	L	R	L
A	175.5	74.2	左	29.8	7.2(24%)	33.5	30(90%)
B	159.8	55.3	左	27.5	6.9(25%)	24.2	22.3(92%)
C	158.0	61.0	右	10.9(37%)	29.7	26.2(95%)	27.7
D	155.3	55.0	右	10.6(37%)	28.8	24.1(84%)	28.6
E	166.0	54.0	右	7.8(27%)	29	24.6(92%)	26.7
F	160.4	51.2	右	5.5(18%)	29.5	27.1(91%)	29.7

太字およびイタリック体で表示されている測定値は、欠損側を示す。*: %で示される測定値は健側比を示す。

表3 肩関節可動域

対象者	肩関節可動域(°)							
	屈曲		伸展		外旋		内旋	
	右	左	右	左	右	左	右	左
A	167	157	88	65	90	77	48	30
B	174	157	27	34	52	68	74	28
C	184	191	54	68	104	107	24	79
D	170	190	69	96	91	98	44	49
E	164	172	52	63	108	105	27	46
F	161	190	60	77	50	107	42	40

太字およびイタリック体で表示されている測定値は、欠損側を示す。

側の可動域制限が認められた。肩関節屈曲および内旋可動域においては全対象者において健側との左右差が生じていた。また、肩関節伸展および外旋可動域では、5名の対象者において欠損側の可動域制限が認められた。

表4に肘間距離、肩回旋幅、踵臀距離の測定値を示す。肩複合体の柔軟性評価項目である肘間距離では、すべての対象者において欠損側上肢を上にした時に距離が増大していた。同じく肩複合体の柔軟性評価項目である肩回旋幅は、56～106cmだった。また、踵臀距離は、すべての対象者において踵と臀部が接触せず、測定値は5.9～

19.5cmだった。

対象者の静止立位における矢状面のストリームライン姿勢を図1に示す。ストリームライン姿勢を質的に分析した結果、過度な腰椎前弯を呈する対象者が3名、肩関節の欠損側上肢が最大挙上位に達していない対象者が5名認められた。

3. 考 察

欠損側の上腕最大周径がすべての対象者で健側よりも小さい値を示した。この理由として出生時から現在に至るまでの日常生活における上肢の使用量が少なく、筋量の左右差をきたしていると考えられる。上腕最大周径は上腕二頭筋の最大膨隆部位で測定され、上腕を取り巻く筋群をはじめとする軟部組織量を反映する。本研究の対象者全員において、出生時より現在までに日常生活における義手の使用経験はなかった。つまり、肘関節より遠位の欠損により、物体を手で把持し、肘関節屈筋を使って持ち上げる動作の経験が少ないた

表4 肘間距離、肩回旋幅、踵臀距離

対象者	肘間距離(cm)		肩回旋幅(cm)	踵臀距離(cm)	
	R	L		R	L
A	76	86.5	106	14.5	19.5
B	71	74	85	15.5	17
C	65	66	83	6.7	5.9
D	71.5	69	60	12.7	11.2
E	73	68	74	8.8	6.3
F	76	68.5	56	11.3	7.5

太字およびイタリック体で表示されている測定値は、欠損側を示す

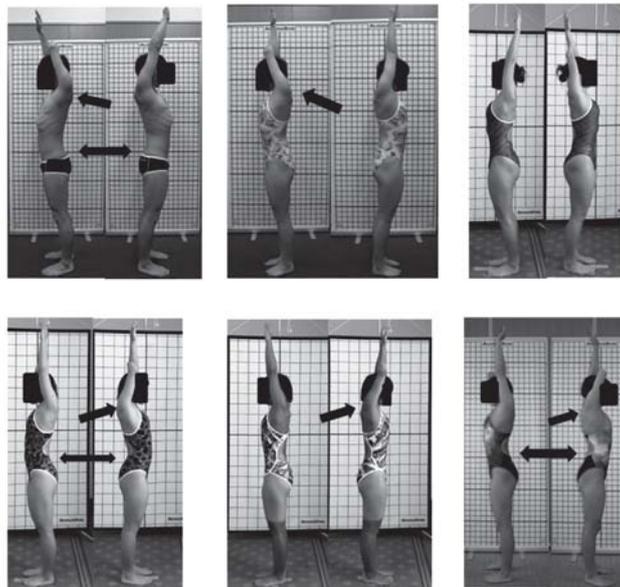


図1 各対象者のストリームライン姿勢

各対象者の姿勢を質的に分析した結果、一方向性の矢印は、欠損側上肢が最大挙上位に達していないことを示し、両方向性の矢印は過度な腰椎前弯を呈していることを示している。なお、匿名性の保持のため、対象者は特定していない。

め、健側よりも小さい値を示したと推察される。先天性前腕欠損者における代償的な上肢機能の獲得手段として、義手の使用が推奨されている¹⁾。一方で、本研究対象者に欠損側上肢の認知について尋ねると、「欠損部位が存在する感覚がわからない。」、「小学生低学年ぐらいまで欠損部位に気がついていなかった。」、「欠損部の末端が手の平である感覚になっている。」などの回答が聞かれた。これらの回答から推察すると、出生時より健側での代償と動作の工夫により日常生活に適応してきたため、義手を作製および訓練してこなかったものと考えられる。

欠損側の肩関節屈曲制限が対象者Cを除く5名に認められた(表3)。ストリームライン姿勢の質的な分析においても、この5名の対象者で欠損側の肩関節が最大挙上位に達していないことが観察された(図1)。さらに、肩複合体の柔軟性を表す肘間距離には、すべての対象者で欠損側上肢が上に位置している場合に距離が増大したこと(表4)からも、欠損側の肩関節屈曲および外旋可動域制限を反映していると考えられる。肩関節の屈曲可動域制限によって、競泳の基本姿勢であるストリームライン姿勢が崩れ、水中において抵抗が大きくなるのが懸念される。ストリームライン姿勢は、競泳競技において水中で水平に近い状態をとる姿勢であり、水中抵抗を減らすために身体を可能な限り一直線に保持することが重要と考えられている^{8,9)}。肩関節の屈曲可動域制限を有する場合、上肢が進行方向を向かないことや、代償運動として過度な腰椎前弯を呈することが起こる可能性があり、水中における抵抗の増大と競技力の低下につながると考えられる。このため、理想的なストリームライン姿勢を獲得するための肩関節周囲のストレッチングをはじめとしたコンディショニングが必要だと考えられる。鈴木ら¹⁰⁾は、大学生競泳選手のストリームライン姿勢における脊柱アライメントを定量的に評価した結果、上肢

挙上角度が大きな者ほど胸椎後弯の減少が認められ、腰椎前弯の変化量が少なかったと報告している。このことから、理想的なストリームラインの保持には肩関節可動域のみならず、胸椎の伸展可動域や肩甲骨の可動性も必要である。

また、競泳競技では腰部障害が最も多く¹¹⁾、その要因としてストリームライン姿勢における腰椎前弯の強制が報告されている¹²⁾。本研究対象者6名のうち3名には立位でのストリームライン姿勢において過度な腰椎前弯姿勢が認められた(図1)。また、大腿前面筋群の短縮を反映すると考えられる踵臀距離の測定においても、すべての対象者で踵と臀部が接触せず、過度な腰椎前弯の一要因として膝関節伸展筋群および股関節屈筋群の短縮も関係していると考えられる。これらの対象者が水中において肩関節の屈曲可動域制限を腰椎の過伸展で代償した場合には、腰背部伸展筋群の収縮が求められ、筋・筋膜性の腰痛の発生につながる可能性がある。このため、ストリームライン姿勢における骨盤の過度な前傾と腰椎の過伸展を引き起こしうる大腿および股関節前面筋群の短縮に対するストレッチングなどのコンディショニングが必要であると考えられる。

欠損側の肩関節屈曲制限がすべての対象者に認められた一方で、対象者Cを除く全員に健側の肩関節屈曲制限が認められた(表3)。この理由として、水中での推進力を生み出す際に、健側上肢は欠損側よりも大きな筋力発揮を求められ、常に酷使されていることが推察される。例えば、自由形のストローク動作では肩関節伸展および内旋動作の繰り返しにより推進力を得るため、広背筋、大胸筋、大円筋および肩甲下筋が常に活動する¹³⁾。競泳において推進力を生み出すこれらの筋群に対する疲労の蓄積やオーバーユースにより、肩関節屈曲可動域を制限する可能性がある。

また、先天性前腕欠損者の泳動作においては、肘関節より遠位の欠損によりストローク動作が

健常者と異なる。Gonjoら¹⁴⁾は、片側前腕欠損パラ水泳選手を対象にクロール泳の動作解析を解析した結果、片側前腕欠損選手は非常に高いストローク頻度を達成することでパフォーマンスを発揮していること、欠損側の肩を大きく傾けて非対称なストローク動作を行っていることを明らかにした。つまり、より頻度の高いストローク動作が求められる先天性片側前腕欠損選手には、健側または欠損側を問わず大きな筋力発揮が求められることが推察される。加えて、日常生活動作遂行上においても健側の果たす役割は大きいと考えられるため、使用頻度は健常者よりもさらに高くなるかもしれない。練習におけるストローク回数の観点からみると、健常者トップアスリートでは週6、7回に達する練習頻度および1日約14,000mにも及ぶ練習量¹⁵⁾、1週間で16,000～25,000回に達する肩の回転運動¹⁶⁾が行われると報告されている。近年においては、パラ水泳アスリートにおいても強化活動が活発に実施されており、練習頻度は健常水泳選手に匹敵する状況になってきていることから、オーバーユースによる肩関節痛発生を予防するためにも、ストレッチングをはじめとした日常的なセルフケアの指導が必要不可欠だと考えられる。

欠損側と健側の肩関節屈曲可動域制限に加え、欠損側の肩関節内旋可動域制限も顕著であった。肩関節内旋可動域は、肩関節後方構成体の拘縮を反映する指標として認識されている。大歳ら¹⁷⁾は、肩関節後方構成体の短縮が肩関節内旋位での肩関節外転時可動域と有意な正の相関が認められることを報告している。競泳では、自由形ストロークのリカバリー期において、肩関節内旋位での外転運動が観察される。肩関節後方構成体の拘縮により肩関節内旋可動域制限を有している場合、リカバリー期における外転運動の際に二次的な肩峰下インピンジメントが発生する可能性があるため、ストレッチングなどの指導が必要であると考

えられる。小泉ら¹⁸⁾は、肩関節の可動域保持のためには、狭義の肩関節である肩甲上腕関節での動きのみならず、胸郭も含めた肩複合体全体での可動性が必要であると述べている。本研究では肩関節可動域制限の要因について詳細に検討できていないが、諸家の報告から肩関節可動域を維持するための胸郭および体幹を含めたコンディショニングプログラムの導入や教育的介入がスポーツ外傷および障害予防には必要である。

本研究の限界として、ストリームライン姿勢を定量的に評価できなかった点が挙げられる。今後は脊柱の弯曲を定量的に評価する機器を用いるなどして、身体特性と姿勢アライメントの関係を明らかにすることが必要であるが、機器の整備にかかるコストや現場での測定の手間なども加味して検討する必要がある。また、本研究は先天性前腕欠損の強化および育成水泳選手を対象とした横断研究であり、対象者が少なく比較対象が存在しない。競技人口が少なく選手の有する障害の多様性が著しい故に、症例報告を積み重ねることが必要であるとともに、今後は同年代の健常水泳選手の身体機能との比較および考察も必要である。

結 論

本研究の成果として、先天性前腕欠損選手の身体的特徴は、欠損側の上腕最大周径の減少、欠損側の肩関節可動域制限および健側との左右差に現れることを明らかにした。特に、肩関節屈曲可動域制限と内旋可動域制限をはじめとする肩複合体機能の改善が、理想的なストリームラインの獲得、推進力の増加、腰痛および水泳肩をはじめとするスポーツ障害の予防に必要だと考えられた。

謝 辞

本研究は、公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団の2019年度学術研究助成を受けて実施されました。関係者の方々に深謝申し

上げます。

また、本研究のデータ測定は、一般社団法人日本身体障がい者水泳連盟の協力のもとで実施されました。参加選手ならびにスタッフの皆様に深謝申し上げます。

文 献

- 1) Farr S., et al.: Peromelia—congenital transverse deficiency of the upper limb: a literature review and current prosthetic treatment, *Journal of children's orthopaedics*, **12**: 558-565 (2018)
- 2) 難病情報センター：奇形症候群 先天性横軸形成障害（上腕欠損、前腕欠損）(2019)
- 3) 森田 千, 山本 澄: 片側上肢切断が姿勢に及ぼす影響について. 日本義肢装具学会誌, **23**: 75-82 (2007)
- 4) World Para Swimming: World Para Swimming Rules and Regulations. 46-47 (2018)
- 5) Lee C.J., Sanders R.H., Payton C.J.: Changes in force production and stroke parameters of trained able-bodied and unilateral arm-amputee female swimmers during a 30 s tethered front-crawl swim, *Journal of sports sciences*, **32**: 1704-1711 (2014)
- 6) 笠原政志, et al.: 距離法を用いた指椎間距離測定 の信頼性と客観性. 日本臨床スポーツ医学会誌 = *The journal of Japanese Society of Clinical Sports Medicine*, **19**: 534-539 (2011)
- 7) 成田崇矢, 金岡恒治: 新たな肩関節柔軟性測定方法 (肩回旋幅) と肩関節可動域との関連. 水と健康医学研究会誌, **17**: 17-21 (2014)
- 8) Havriluk R.: Performance level differences in swimming: a meta-analysis of passive drag force, *Research quarterly for exercise and sport*, **76**: 112-118 (2005)
- 9) Lyttle A., et al.: Body form influences on the drag experienced by junior swimmers. *International Research in Sports Biomechanics. USA and Canada: Routledge*: 5455-5582 (2002)
- 10) 鈴木雄太, et al.: 競泳ストリームライン姿勢での上肢挙上角度と脊柱アライメントの関係. 理学療法科学, **31**: 209-212 (2016)
- 11) 半谷 美, 金岡 恒, 奥脇 透: 一流水泳競技選手のス ポーツ外傷・障害の実態 国立スポーツ科学センタースポーツクリニック受診者の解析. 日本整形 外科スポーツ医学会雑誌, **30**: 161-166 (2010)
- 12) 長谷川伸, et al.: 水泳のスポーツ障害と予防のた めのバイオメカニクス. 臨床スポーツ医学 = *The journal of clinical sports medicine*, **18**: 33-42 (2001)
- 13) Hibberd E.E., et al.: Effect of a 6-week strengthening program on shoulder and scapular-stabilizer strength and scapular kinematics in division I collegiate swimmers, *Journal of sport rehabilitation*, **21**: 253-265 (2012)
- 14) Gonjo T., et al.: Front crawl body roll characteristics in a Paralympic medallist and national level swimmers with unilateral arm amputation, *Sports Biomechanics*: 1-17 (2019)
- 15) Lynch S.S., et al.: The effects of an exercise intervention on forward head and rounded shoulder postures in elite swimmers, *British journal of sports medicine*, **44**: 376-381 (2010)
- 16) Scovazzo M.L., et al.: The painful shoulder during freestyle swimming: an electromyographic cinematographic analysis of twelve muscles, *The American journal of sports medicine*, **19**: 577-582 (1991)
- 17) 大歳 憲, 猪狩 貴, 四家 卓: 肩後方タイトネスがテ イクバック期の肩外転角度に与える影響. 日本臨 床スポーツ医学会誌, **26**: 466-471 (2018)
- 18) 小泉 圭, 金岡 恒: スポーツ障害・外傷とリハビリ テーション 水泳. *Journal of Clinical Rehabilitation*, **21**: 291-297 (2012)