

先天性上肢形成不全・切断児の 小学校体育学習指導要領に適した作業用義手の開発と 海外義手パーツの評価検討および臨床応用

東京大学 医学部附属病院	藤原清香
(共同研究者) 東京大学大学院	真野浩志
東京大学 医学部附属病院	奈良篤史
同	野口智子
田沢製作所	柴田晃希

Evaluation of Overseas Artificial Hand Parts and Development of Original Terminal Device for Children with Upper Limb Deficiencies to Apply to Japanese Elementary School Physical Education Curriculum Guidelines

by

Sayaka Fujiwara, Atsushi Nara, Satoko Noguchi
*Department of Rehabilitation Medicine,
The University of Tokyo Hospital*
Hiroshi Mano
*Department of Rehabilitation Medicine,
Graduate School of Medicine, The University of Tokyo*
Teruki Shibata
Tazawa MFG. Co.

ABSTRACT

Patients with upper limb deficiencies have almost no chance that functional artificial arms are prescribed for in Japan. In addition children with upper limb deficiencies face to the participation restrictions at the class of physical education during the elementary

education course. On the other hand Crandall RC strongly concluded that unilateral pediatric amputees should be offered a variety of prosthetic options to help with normal activities of daily living.

In this report, we evaluated the durability and the quality of the artificial arm terminal device Shroom Tumbler (TRS) which is used in gymnastic competitions in North America, because we considered this terminal device is suitable for use also in Japan. As long as the elementary school students use it when vaulting horse at the class of physical education, we elucidated that this terminal device possesses sufficient durability that fatigue destruction accompanying use does not occur even if it is used for three years.

We provided a child with unilateral upper limb deficiency with the special prosthetic arms which used the Shroom Tumbler as the terminal device, and evaluated them. We considered how the sockets and the liners should be made or selected, how the children should be trained with this prosthetic arms, and whether they are useful or not in actual use.

要 旨

本邦においては上肢切断 / 形成不全小児に義手の処方 は殆どされず、義務教育課程の学校体育で授業参加の参加制約となっている現実がある。一方で、欧米の上肢形成不全・切断児はスポーツなど様々な目的に適した義手を使用する事で活動範囲を広げ、社会参加の拡大と QOL の向上につながっている。

今回我々は、北米で市販されている TRS 社の Shroom Tumbler (米国製) という運動用手先具が本邦での使用に適した耐久性と特性を有するかを検討した。そして小学生が体育で行う跳び箱で使う程度であれば、3 年使っても使用に伴う疲労破壊は起きない十分な耐久性を、本手先具が備えていることを明らかにした。

さらに運動用の義手を実際に上肢形成不全児に対し製作し評価、検討を行った。児に装着し訓練を行ったところ、長断端の場合は義手の装着により両上肢長差に影響を及ぼし、さらにはソケット

の形状や特性が、実際の使用時の荷重時安定性や肘関節の可動域にも関わることがわかった。以上から国内用の運動用手先具の開発の基準や義手製作時の課題についても明らかにした。

諸 言

義肢は欠損した四肢を人工物で代替することで、四肢の機能的精神的問題を軽減させるために用いられる。義手は上肢の形成不全や切断に対し用いるものである。義手の主な構成要素には断端(残存肢)と義手のインターフェイスとなる「ソケット」、ソケットを断端に固定する「懸垂機構」、手の機能の一部を補う役割をもつ「手先具」、手先具をソケットと連結させる「継手」がある。また義手の機能面により装飾用義手、能動義手、作業用義手、電動(筋電)義手に分類されている。特に「作業用義手」は成人であれば就業に必要とする機能や耐久性を優先して製作した義手で、作業に応じて専用の手先具に交換して使用することができる。同様に小児に対する作業用義手は、教

育場面を含めて成長や発達を促す運動、遊び、習い事などに必要とする手先具を使用した義手と考えることができる。

片側上肢切断の場合、対側の健常な手指/上肢が残っていれば、日常生活動作の9割以上のことができることとされる。そのため本邦において上肢切断児については幼少期からの適応能力の高さを理由に義手の処方とは殆どされてこなかった。しかしながら、欧米の上肢形成不全・切断児はスポーツや習い事の為に様々な作業用義手を製作し、使用する事で活動範囲を広げ、社会参加の拡大とQOLの向上に寄与していることが報告されている¹⁾。また、成人後は状況に応じて必要とされる機能を判断することで、各種義手を場面に応じて適切に使わせることが可能となっている。

本邦では、文部科学省の定める小学校体育学習指導要領において、器械運動系は6学年にわたって体育の主要な領域となっており、マットや鉄棒、跳び箱を使った内容の他、ジャングルジムや雲梯、登り棒、肋木などを使用した懸垂移行や渡り歩き、跳び下りをして楽しむといった両上肢を活用した多彩な運動遊びが盛り込まれている²⁾。こうした体育における両上肢を活用した運動が、本邦の義手を使用しない上肢形成不全・切断児においては、小学校体育の授業への参加制約となっている現実がある。

北米では国民的な人気スポーツでもある体操競技用として、上肢形成不全・切断者のための運動用手先具が各種製品化され市販されている³⁾。今回我々は、本邦における小学校体育学習指導要領を考慮し、マット・跳び箱運動に着目した。

本研究では、1. 現存する海外製のマット・跳び箱用の運動用手先具の評価を行うことで、本邦での使用に適した運動用手先具の耐久性と特性について検討を行う。さらに、2. 運動用手先具を使用した義手の製作方法および使用・訓練方法について評価、検討を行うことを目的とした。

1. 運動用義手に用いる海外製手先具の耐久性と特性についての評価

本研究では海外での使用実績もある運動用手先具である TRS 社製の Shroom Tumbler について耐久性と特性評価を行った。花井ら⁴⁾の報告に基づいて、跳び箱動作時の姿勢と、その際の運動用手先具への負荷についてコンピューターによる動作シミュレーションを実施し、Shroom Tumbler の試験条件について検討を行った。これを踏まえて設定した試験条件を基に、耐久試験、特性評価を実施した。耐久試験では、製品を一定期間使用する際にその製品自体の耐久性の問題の有無を明らかにすることができる。また、一定の水準を定めることで、国産の運動用手先具の設計に進む際に軽量化、薄肉化、材質などを改良した際に、満たすべき基準の参考とすることができる。また特性評価においては、製品の荷重に対する挙動を把握することで、製品の反発力などの性能を把握することができる。これにより本邦の小学生に適したオリジナルの手先具開発の際の仕様決定の参考とできると考えた。

1.1 研究方法

1.1.1 動作シミュレーション

先天性上肢切断児における跳び箱動作時の姿勢と手先具にかかる負荷を想定して、コンピューターでの動作解析を試みた。日本人の人体計測データ⁵⁾を基にモデルを構築し、跳び箱動作時の着手時と離手時に着目して、手先具にかかる負荷と姿勢について検討した。

コンピューターでの動作解析の際に採用したモデルは11歳の男児とした。各種寸法は11歳男児体重の95パーセントイル値の53 kg、肩—手関節間距離600 mm、肩幅310 mmとした。

花井ら⁴⁾は跳び箱を飛ぶためのポイントとして着手時に肘関節が伸展していると述べている。

その理由として身体の下方への落下を防ぎ、踏み切り後に身体が持つ前方への速度を、上方への運動に変換できる。これらの運動により着手時に上肢の傾きがより立った状態になることで、腕が身体を前に押し出すための重心の移動が容易になると述べている。以上の理由により肘関節伸展位固定のシミュレーションモデルとした。そして跳び箱動作の際の姿勢については、花井ら⁴⁾の報告データを元に、跳び箱を跳べた被験者6名の平均値を参考とした。

姿勢は着手時と離手時の2種類の姿勢条件について検討した。そして着手時と離手時の上肢の傾き、および体幹の傾きを図1-1、1-2のように定め、表1のように設定した。負荷条件として、手先具にかかる負荷は自重と、前方への移動に伴う力のみとした。力はステップ入力とし、解析初期（0秒時）に500Nの力をモデル後方より前方へかける形とした。手先具と床面との摩擦は動摩擦のみを考慮し、静止摩擦は無視した。跳び箱を跳ぶ際の義手としての使用を想定し、筋肉の無い、骨格だけで構成された関節の動かないものに前方に倒れ込むような動作をさせ、その際の手先の負荷として、手先具の反力、手継手部のモーメントについて測定した。

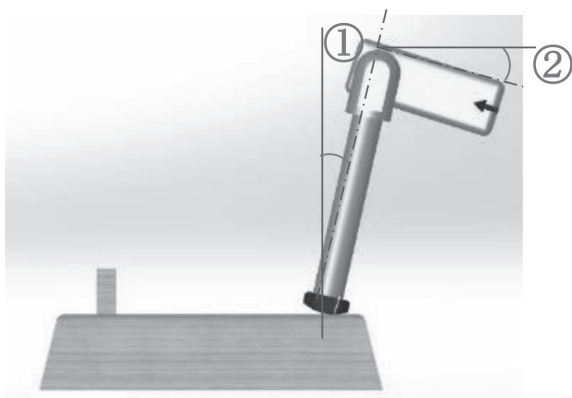


図1-1 ①着手時の接地面と上肢の傾き
②着手時の接地面に対する体幹の傾き

表1 シミュレーションモデルの概要

姿勢	上肢の傾き	体幹の傾き
着手時	-15° ①	-20° ②
離手時	22° ③	-5° ④

①, ②, ③, ④の各角度については図1-1, 図1-2 参照

シミュレーション上での定義座標は、前後方向をx（後方が+）、上下方向をy（上方が+）、左右方向をz（左方を+）とし、評価対象は左手とした（図2）。実際に本手先具を使用する際には、両手支持の場合と片手支持の場合が考えられるため、双方の動作についても検討した。それぞれの姿勢は図3の様に想定し測定した。

結果：着手時と離手時のそれぞれの両手支持、片手支持の4条件の結果の比較から、最も大きなモーメント、手先反力となるのは、片手支持の着手時であった（表2）。また反力Zは着手時の両手支持で0N、片手支持で-88N、離手時の両手支持で0N、片手支持で-57Nとなり、着手時、離手時ともに片手支持で反力が生じていた。

1.1.2 耐久試験

研究1. 1. 1の結果から片手支持での着手時のモーメントおよび手先反力が最も大きいことから、耐久試験における手先具の取付け角度は表1

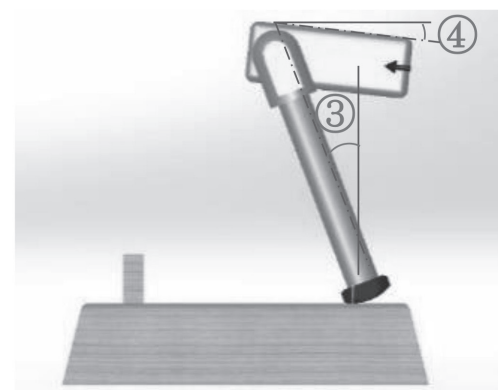


図1-2 ③離手時の接地面と上肢の傾き
④離手時の接地面に対する体幹の傾き

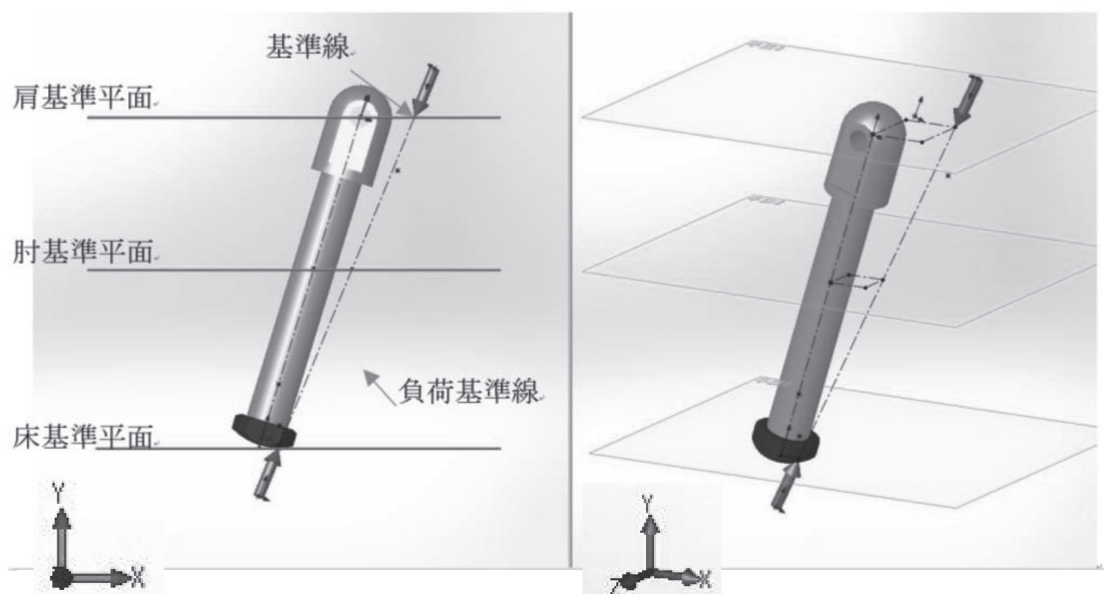


図2 シミュレーション上での定義座標
X- 前後方向, Y- 上下方向, Z- 左右方向

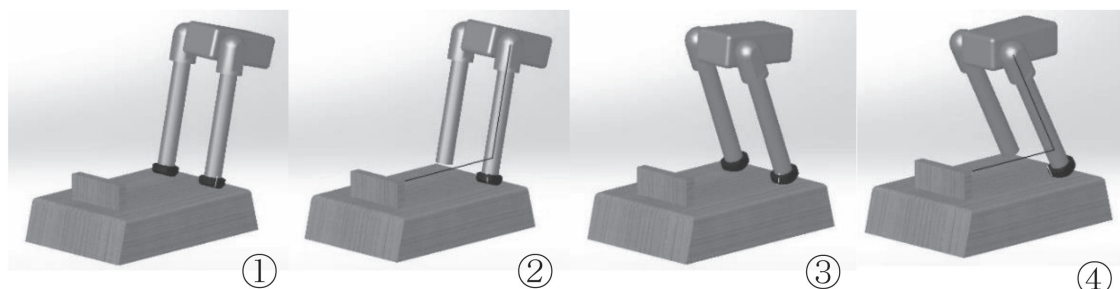


図3 シミュレーションモデルの両手支持と片手支持
①着手（両手支持）②着手（片手支持）③離手（両手支持）④離手（片手支持）

表2 手先反力：最も手先反力が大きいののは着手時の片手支持（網掛け部）

姿 勢		モーメント [Nm]	手先反力 [N]	反力 X [N]	反力 Y [N]	反力 Z [N]
着手時	両手支持	4.6	234	91	213	0
	片手支持	9.5	448	148	414	-88
離手時	両手支持	2.7	175	-16	174	0
	片手支持	5.5	252	-53	240	-57

の①, ②に設定し, 片手支持の条件で実施することにした。繰り返し負荷試験として, 繰り返し負荷: 50kgf (シミュレーション (448 N (46kgf)) より), 繰り返し周期: 1.2Hz, 繰り返し回数 (合格基準回数): 15 万回とした。合格基準回数の根拠としては 1 回の運動教室で行う試技数を 400 回とし, 週の練

習回数を 2 回, 年 52 週, 使用期間を 3 年とすると, 繰り返し負荷の基準回数は 124800 回となるため, これ以上を想定して 15 万回 と設定した。以上の定めた試験条件を基に, 耐久試験 (図 4) を実施した。15 万回完了後に試験試料を観察し, 評価を行った。

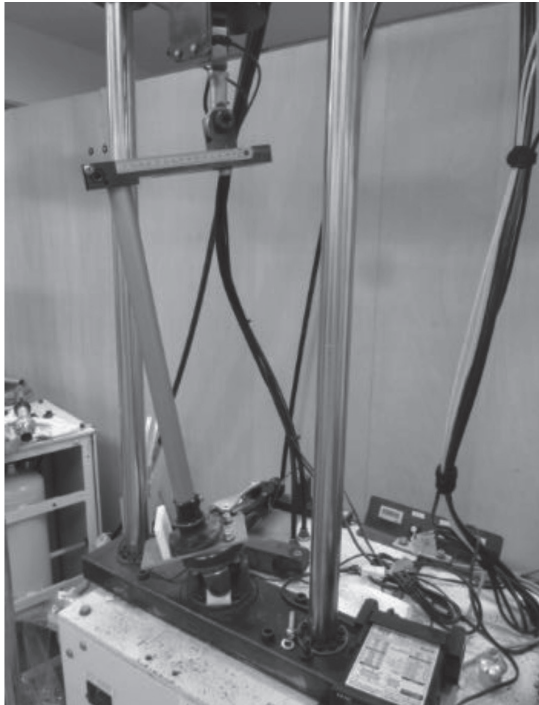


図 4-1 耐久試験の様子



図 4-2 耐久試験時の手先具の様子

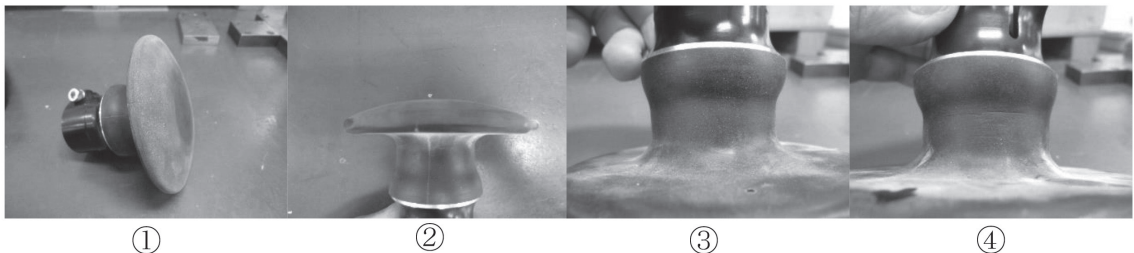


図5 耐久試験時の試料の様子写真

- ①, ②大きな変形, 破損を認めない, 頂点付近で若干の永久変形が見られた
- ③引張側については, 材料の変形, ひび割れなどは確認されなかった
- ④圧縮側については, 取付部付近で圧縮荷重によるしわを認めた

結果：耐久試験時の手先具には大きな変形，破損を認めず，頂点付近で若干の永久変形が見られた．引張側については，材料の変形，ひび割れなどは確認されなかった．また圧縮側については，取付け部付近で圧縮荷重によるしわを認めた（図 5）．

1. 1. 3 特性評価

義手の特性について計測を行った．計測時の姿

勢は，(a) 角度をつけない状態（0°）（図 6-1）と (b) 角度をつけた状態（約 17°）（図 6-2）とした．計測は i) 耐久試験前（試験前），ii) 耐久試験 15 万回（試験後①），iii) 耐久試験 50 万回（試験後②）の 3 回実施した．計測内容は，水平面に対する負荷に対する変位量とした．

計測は無負荷状態から，約 120kgf まで荷重し，その際の変位量を計測した．試験条件と負荷時の写真，計測結果を以下にまとめる．

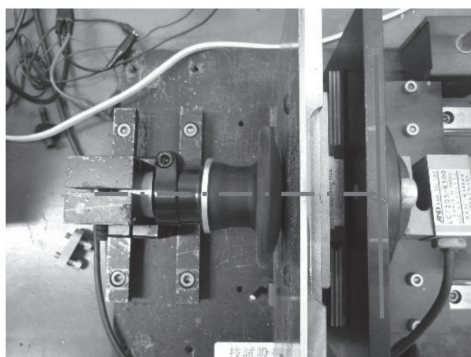


図 6-1 (a) 角度をつけない状態：0°

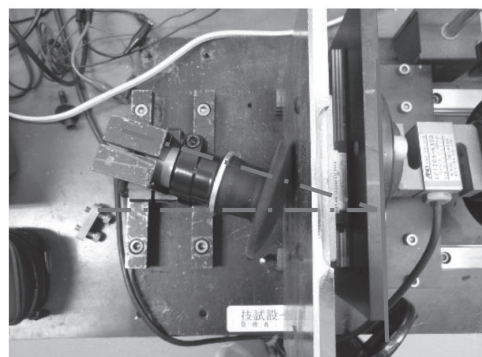
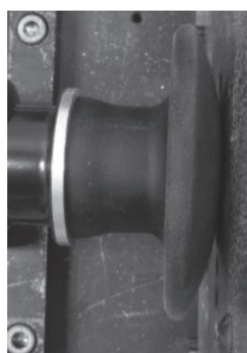
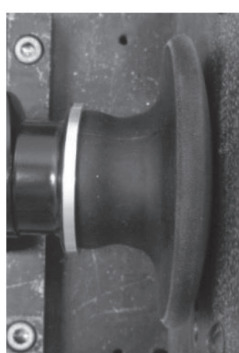


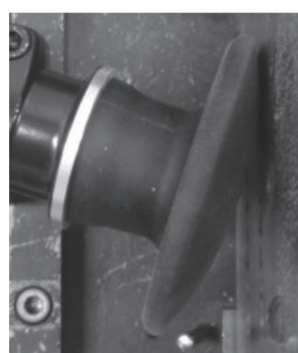
図 6-2 (b) 角度をつけた状態：17°



(0°) - 荷重前



(0°) - 荷重時



(17°) - 荷重前



(17°) - 荷重時

図7 手先具の設置アライメントと荷重前後の様子

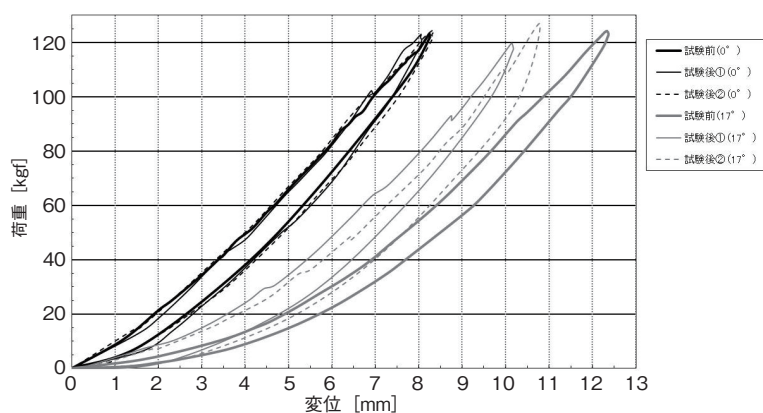


図8 変位－負荷 測定結果

0°では、耐久試験後も変化なし、17°では、荷重に対して、変位量が小さくなる（硬くなる）傾向を認めた

結果：

各試験における手先具の設置アライメントと荷重前後の様子は図7の通りである。0°よりも角度を付けた方が柔らかい傾向があり、0°では、耐久試験後も大きな特性の違いは見られなかった。17°では、荷重に対して、変位量が小さくな

る（硬くなる）傾向を認めた（図8）。

1.2 考察

動作シミュレーションの結果から、手先具の負荷については、モーメントが大きい条件が最も負荷が大きい。また、片手支持における着手時が最

も高いことから、耐久試験の手先具の取り付けアライメントを設定するにあたり、最も負荷が高い片手着手時の姿勢と負荷を解析及び耐久試験の基本条件とした。また、表2におけるZ方向の反力が着手時、離手時において生じているという結果であった。これは、上肢形成不全児が義手を装着して跳び箱を跳ぶ際に、両上肢長を比較して義手側が相対的に長いと、片手支持に近い条件が生じる可能性があり、このZ方向の反力が少なからず生じていると考えられる。

耐久試験においては設定した条件（11歳男児、跳び箱の片手での負荷、跳び箱動作での3年使用、荷重約50kgf、動作シミュレーションからの手先具取り付けアライメント設定）に則して実施した結果、今回想定した条件での使用において、対象義手は十分な耐久性があることを明らかにした。

続いて、特性評価においては、着手時の接地面と上肢の傾き0°では、80kgfで約6mm、120kgfで約8mmという変位特性であった。そして同様に着手時の接地面と上肢の傾きが17°では、80kgfで約9.5mm、120kgfで約12mmという変位特性が得られ、角度を付けた場合では、0°の変位特性に比べて約1.5倍の変位量があることがわかった。

さらに15万回、および50万回の耐久試験後の計測では、0°では大きな変化は見られなかったが、17°では、80kgfで9.5→8mm、120kgfで12mm→10mmと変位量に変化をみとめ、硬くなる傾向があることがわかった。

以上の結果を踏まえて、小学生が体育で行う跳び箱で使う程度であれば、3年使っても使用に伴う疲労破壊は起きない程の十分過ぎる耐久性を、Shroom Tumblerは備えていることが明らかとなった。

本邦において、補装具としての義手は障害者総合支援法においては日常生活用具であれば支給対象となるが、スポーツ用やレクリエーション用の

義肢は対象とならない。また、本邦で実際にこうした用途の義手はほとんど使われていない現実があるため、小児切断者がスポーツ用の特殊な手先具の使用を希望しても、前例がないこともあって支給対象にはなりにくく、ユーザーが実費で購入しなければならない現実がある。従って、今後はより廉価版のマット運動・跳び箱用手先具を開発・設計する必要があると考えている。そのためにも日本の義務教育課程の体育における学習指導要領にも適した運動用義手の手先具について、負荷に対する特性を検討し、本報告の結果を踏まえた一定の基準を設定することで、跳び箱動作に適した義手部品の開発に本研究は貢献できると考えている。

2. 運動用の義手の製作と利用方法についての評価、検討

東京大学医学部附属病院に通院する上肢形成不全・切断児で、実際にマット・跳び箱運動用の義手を希望する児が複数いるものの、それに適した義手や運動用手先具が本邦では存在しない。

器械運動の運動特性について、日本体操競技・器械運動学会では学校体育の器械運動で取り扱われる運動についてプロジェクト研究を行っており⁷⁾、これによると種々の器械運動に取り組む前に様々な基本的な運動感覚を身に付けておくことが重要と述べられている。上肢に障害がある児にとって器械運動を実施するにあたっての課題では、上肢長の左右差および手掌の欠損による荷重面の狭小化、鉄棒では手先での把持が不可能なことが代表的である。従ってマットや跳び箱運動においては、運動用手先具をとりつけた義手により、上肢長の左右差の補正を目指し、さらには荷重面積を拡大し義手荷重時の安定性を確保することが重要になる。

従って本研究は次のような2つの目的で行った。一つめはShroom Tumblerを運動用の手先具

として使用した義手製作。二つめは本邦におけるマット・跳び箱運動に適した形状の手先具として使用が可能か、また小学校体育(教育場面)に適した運動用手先具であるかを確認することである。

2.1 対 象

運動用義手の製作と使用にあたっては以下の条件を満たす者を対象とした。①東京大学医学部附属病院リハビリテーション科四肢形成不全外来に通う上肢形成不全・切断の小児で、②幼稚園および小学校で鉄棒とマット・跳び箱運動を行っている、もしくは行う予定となっている、③運動用義手の製作を保護者も希望していることとした。

本研究は東京大学大学院医学系研究科・医学部の医学部倫理委員会の承認のもと行っている。説明の際には文書の配布および協力時の口頭説明の両方によって行い、本人および保護者の同意を得た。

対象児は6歳女児で、先天性横軸性手部欠損で

ある。患側肢の手関節は残存するものの、上肢長として肘関節から手関節までの前腕長が健側に比べ約2cm短い(図9-1)。また肘関節可動域は $10-0-130^{\circ}/0-0-130^{\circ}$ で、患側は軽度過伸展であった。跳び箱に着手時の様子は(図9-2)の様である。

2.2 方 法

今回はShroom Tumblerを使用することで切断肢での荷重を目指す。義手のソケットには様々なものがあるが、今回製作したソケットは上腕カフ付き差し込み式(図10-1)、および顎上支持式(図10-2)の2種類である。

対象児の断端に適合したソケットを製作し、その適合は担当医師、義肢装具士によって確認した。今回は研究1.で特性評価および耐久性の確認ができたShroom Tumblerを用い、マット・跳び箱運動について訓練・指導を行い実施した。これにより教育場面で使用に適した義手パーツの形状に

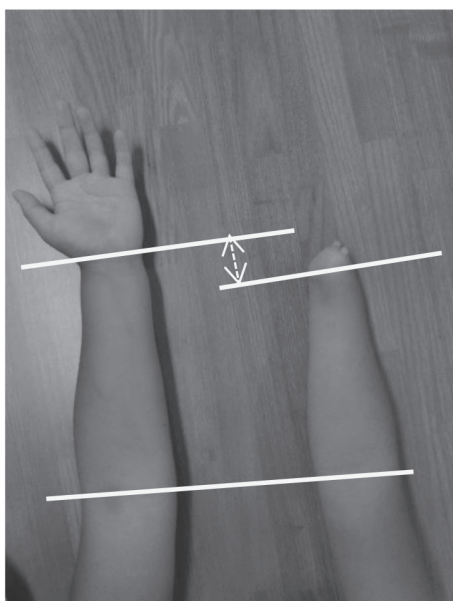


図9-1 対象児の両上肢の遠位部の様子
(肘関節－手関節長の左右差約2cm)



図9-2 跳び箱に着手時の様子



図 10-1 上腕カフ付き 差し込み式ソケット



図 10-2 顎上支持式ノースウェスタンソケット

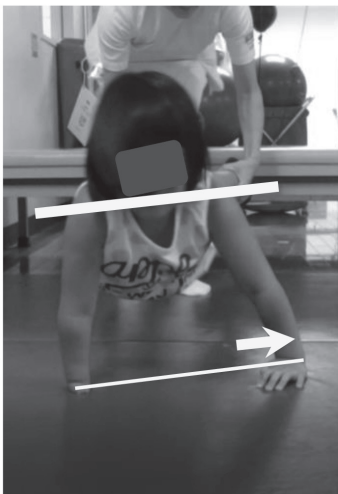


図 11-1 手押し車 義手なし

義手がない状態では肩甲骨の高さの左右差と健側手の外方の移動で上肢長の差に適応させている



図 11-2 手押し車 義手あり

について検討した。

2.3 結果

対象児が義手を装着しない状態でマット・跳び箱運動を行った際に痛みを訴えることはなかった(図 9-2)。実際の運動時には、マット運動においては前方回転、後方回転では進行方向に対して右

方向に曲がり、手押し車では上肢長をそろえるために肩甲骨の高さの左右差が生じ、また健側手を外方につく傾向があった(図 11-1)。

本児に対し、ノースウェスタン式の顎上支持式ソケットで Shroom Tumbler の手先具を義手に取り付けると、患側肢が健側に対し 3 cm 長くなった(図 12-1, 2)。義手を装着しての肘関節可動

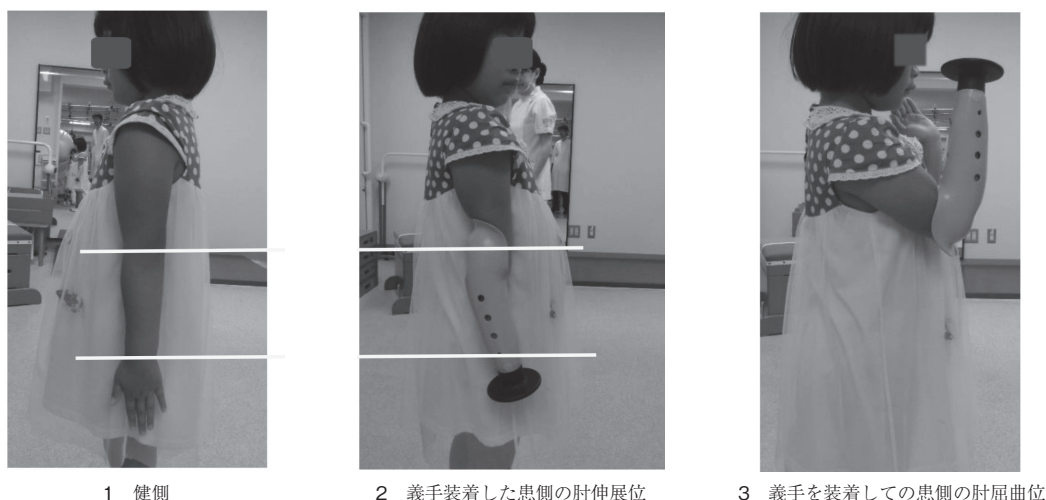


図 12 顆上支持式ソケットの義手

域は $0-5-120^{\circ}$ であった（図 12-2, 3）. 上腕カフ付き差し込み式ソケットの場合、肘関節可動域は $5-0-125^{\circ}$ であった. しかし差し込み式ソケットは顆上支持式ソケットに比べて懸垂力が低いため、運動中に断端とソケット間での断端長軸方向の不安定感があり、また患側肘関節が過伸展する傾向にあった. そのため懸垂力が高く、肘過伸展位となりにくい顆上支持式ソケットにすることにした.

器械運動における上肢の体重支持を行う際に、肩甲帯の屈曲や伸展、および拳上や引き下げをすることで上肢長に左右差があっても適応が可能で、実際の運動時には大きな問題にはならなかった（図 11-1, 2）.

また、実際の体重支持がしやすいと児自身が述べていることから、ソケットの形状により前腕部全体が荷重面として全体重を支持することで、義手を使用しない場合に比べて断端部への負荷は軽減していると考えられる. これにより、本児はマットで逆立ちや跳び箱など様々な運動にチャレンジすることが可能となった（図 13）. 現在は小学校に本手先具を持っていき、この義手により活動しやすい場面で使用している.



図 13 跳び箱も跳べるようになった

2.4 考 察

Shroom Tumbler は運動用手先具として非常に有用であったが、課題として、児の断端遠位から本手先具と手継手を設置するため、断端末から手先具遠位端までの距離が6 cm必要となる. このために長断端の小児に対して義手を製作する場合に、健側に比較して患側上肢長が長くなることによって両上肢長の左右差が逆転し、場合によってはもっと差が大きくなる.

マット・跳び箱運動においては、義手のソケットとしてノースウェスタン式顆上支持式ソケット

がその安定性から適していると考えられた。顎上支持式ソケットの場合、肘伸展位での可動域制限を招きやすいことから、差し込み式ソケットの方が使用しやすいことが考えられるが、差し込み式ソケットは上腕カフで懸垂していても、ソケットが断端に対しての断端長軸方向には固定されないため、断端に対してソケットが動くのを感じたと考えられる。また、上肢形成不全がある小児の場合、しばしば断端からの近位関節の低形成も合併している事があり、その場合は本症例のような肘関節の過伸展および不安定性を認める場合がある。こうしたケースでは差し込み式ではなく、顎上支持式で肘関節の過伸展を助長しないような配慮も必要であると考えられる。

今回は製作しなかったが、ピンロック式ライナーの差し込み式ソケットも候補となる。しかし本児の様に長断端の場合はライナー尖端のキャッチピンおよびキャッチピンを受けるライナーロックアダプタを取り付ける必要があり、さらなる義手全長の延長となるため、本児では採用しなかった。中断端から短断端の児の場合は適応があると考えられる。

吸着ライナー式ソケットはそのソケットと断端の適合性やクッション性からもより良い適応と考えられるが⁸⁾、小児サイズの上肢用ライナーの製品は存在せず、様々な切断端および断端長にも対応できるような製品が今後市販されることを期待したい。

以上から対象児に対し運動用の作業用義手としてマット運動・跳び箱用義手を製作し、これにより幼稚園や小学校での体育場面で行われるマット・跳び箱運動の実施が可能となった。このように、両手でのマット・跳び箱運動が不可能か、もしくはやりにくさのあった上肢形成不全・切断児が、幼稚園や保育園、そして小学校の義務教育場で、体育におけるマット・跳び箱運動などへの運動参加の促進を実現できる可能性がある。さら

には、障害のある上肢側の筋骨格系への運動も促進する事で、左右バランスの良い身体と運動機能の育成をも目指すことができると考えている。

総 括

本研究によって上肢形成不全児の運動用の手先具に求められる耐久性や特性を評価し、必要とされる基準を示した。またその形状や実際に義手に組み込むにあたって、今回1名で実際の義手の製作を行ったが、運動用の義手を様々な切断高位・および断端形状の小児に対して製作する際に、配慮すべき事項や課題が存在することが明らかとなった。今後こうした課題を克服し、また本邦での義務教育課程に求められる機能を備えた運動用の手先具の開発と義手製作方法の普及につなげたい。

これにより上肢形成不全児が幼稚園・保育園の他、義務教育課程で直面する器械運動への参加を積極的に支援し、障害による不参加を受容させるのではなく、障害があっても他児と同様に挑戦し達成することで、自己肯定感の育成や身体および精神の健全な成長と発達を支援することが可能になる。

平成25年6月に「障害を理由とする差別の解消の推進に関する法律」（いわゆる「障害者差別解消法」）が制定された（施行は平成28年4月1日）。この基本方針に「家庭や学校を始めとする社会のあらゆる機会を活用し、子供の頃から障害の有無にかかわらず共に助け合い・学び合う精神を涵養する」とある。上肢形成不全・切断児の社会参加を促進することで、これにも将来的に貢献することができると考えられる。さらに、今回得られた知見からより本邦における教育場面での使用に適した国産品の製品化を目指す足がかりになったと考えている。そして広く国内の上肢形成不全・切断児が、体育における各種運動・作業用義手を希望した場合に、こうした選択肢が増え、

さらには全国各地での製作が可能となる一助につながると考えている。

謝 辞

本研究に対して、研究助成を頂きました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝申し上げます。また、本研究の遂行にあたり多大なご支援およびご指導を頂きました今仙技術研究所の大塚滋様、東京電機大学の大西謙吾准教授、東京大学の梅崎成子様、杉田直彦教授、芳賀信彦教授に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Crandall R.C., Tomhave W., Pediatric unilateral below-elbow amputees: retrospective analysis of 34 patients given multiple prosthetic options. *J. Pediatr. Orthop.*, **22**(3) 380-3(2002)
- 2) 小学校学習指導要領解説 体育編 文部科学省 平成20年 6月
- 3) TRS社 製品カタログ: <http://www.trsprosthetics.com/wp-content/uploads/2016/11/Catalog-November-sm-2017.pdf>
- 4) 花井裕梨, 前野信久. 跳び箱運動の動作分析, 健康医療科学研究, **4**: 49-58(2014)
- 5) Japanese body size data 1992-1994. 社団法人 人間生活工学研究センター
- 6) 久本佳己, 後藤幸弘, 辻野昭: 器械運動の学習指導に関する基本的研究－腕立て開脚跳び越し(跳び箱運動)の習得過程の分析. 日本教科教育学会誌 **11**. 25-32(1986)
- 7) 日本体操競技・器械運動学会編 器械運動指導法研究プロジェクト, 実践・理論・調査, 2005-2015 (2015年 12月 15日 発刊)
- 8) Gaber TA, Gardner CM, Kirker SG. Silicone Roll-on suspension for upper limb prostheses :users'views. *Prosthet. Orthot. Int.*, **25**(2) 113-8(2001)