

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：35309

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01531

研究課題名（和文）肘関節運動を力源とした前腕能動義手の適応の拡大と実用性の検証

研究課題名（英文）Extending adaptation and verification of practicality of below elbow body-powered prosthesis using elbow joint movement as a power source

研究代表者

妹尾 勝利 (SENOO, Katsutoshi)

川崎医療福祉大学・リハビリテーション学部・教授

研究者番号：50299260

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、肘システム義手の適応の拡大を目的に新たな懸垂方法を考案し、その実用性を検証することであった。

肘システム義手の懸垂方法は、模擬肘システム義手で検討した。懸垂方法の検討は、スタンプシュリンカーのみ、ソケットの形状を柵状にしてスタンプシュリンカーを使用したもの、上腕カフの内側をシリコンコーティングしたもの、上腕カフにBoAシステムを使用したもの、スタンプシュリンカーとSAKAGEストラップを使用したもので行った。その結果、スタンプシュリンカーとSAKAGEストラップによる懸垂方法が、義手の装着感が良く、すべての切断高位への適応を示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

肘システム義手は、前腕切断者に対する従来の能動義手に使用される材料や部品で構成され、かつ、ハーネスを使用しないため装着感が良く、手先具の操作が容易である。また、この義手は岡山県においては特例補装具として公的給付の対象となっている。

よって、この義手の適応の拡大は、より多くの前腕切断者の両手動作再獲得につながり、その結果として、前腕切断者の社会における生産性を高めるものになる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to devise a new suspension method for expanding the adaptation of elbow system prosthesis, and its practicality.

The method of suspending the elbow system prosthesis was examined with a simulated elbow system prosthesis. For the examination of the suspension method, only the stamp shrinker, the shape of the socket is rectangular and stamp shrinker is used, silicon coating on the inside of the upper arm cuff, BoA system used for the upper arm cuff, using the stamp shrinker and the SAKAGE strap.

As a result, it was suggested that the suspension method using the stamp shrinker and SAKAGE strap provided a good fit for the elbow system prosthetic and was suitable for all cutting level.

研究分野：義肢装具

キーワード：肘システム義手 義手の懸垂 義手の実用性

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

従来の能動義手は、第二次世界大戦前に Dorrance によって開発され、その後米国を中心に普及したものである¹⁾。手先具の操作は、主に切断側の肩甲骨と肩関節の運動（体内力源）をハーネスからコントロールケーブルシステムに伝えることで可能となる。しかし、ハーネスは体幹背側にたすき掛けのように装着されることや手先具操作時には腋窩ループ部が支点となることから義手の装着感が不良となる要因²⁾になっている（図1）。

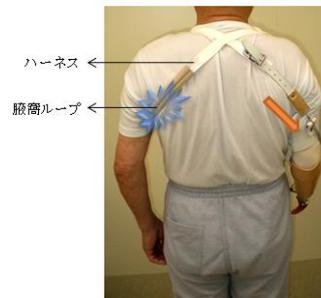


図1 能動義手の装着と使用を困難としている要因(ハーネス)

- 1) 背部拘束感
- 2) 手先具操作に伴う腋窩ループによる腋窩の圧迫
- 3) 腋窩ループによる腋窩部の違和感と暑さ

これらより、我々はハーネスを必要としない前腕能動義手が切断者の生活の質（Quality of Life）を向上し得ると考え、手先具操作の体内力源を肘関節運動として前腕能動義手制御システム（肘システム義手）の検討を行ってきた^{3~5)}。検討の結果、作製した肘システム義手（図2）は、対象者の日常生活場面で21か月間使用し、従来の前腕能動義手よりも装着感が良いことや体幹前面での両手動作能力に優れていることが分かった。また、肘システム義手は、岡山県身体障害者更生相談所に提示し、特例補装具として承認され公的給付の対象となった。

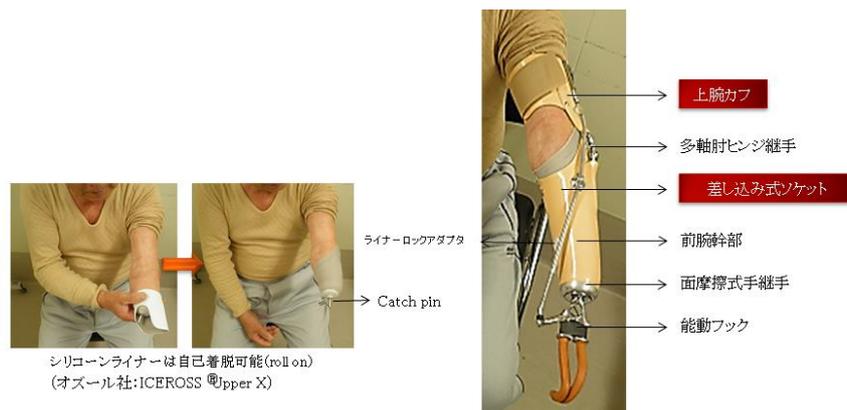


図2 肘システム義手の基本構成

2. 研究の目的

肘システム義手は、その懸垂を得るためにシリコンライナーとライナーロックアダプタを使用したため、前腕長断端では義手の長さが長くなり、適応となる切断高位が限定された⁶⁾。この時点の国内・国外の動向としては、肘システム義手のような構成を有する能動義手はなく、肘システム義手の適応拡大は、前腕切断者のより積極的な社会復帰の援助の一部になると考えられた。

よって、本研究の目的は、この時点での肘システム義手のソケットと懸垂方法を再考し、新たな懸垂法による肘システム義手を試作することであった。

3. 研究の方法

(1) 研究の構成

本研究は、①肘関節屈曲と伸展時の差し込み式ソケット内のソケット内圧と剪断力をソケットの樹脂硬度から検証したものと②模擬前腕能動義手による懸垂方法の検討で構成した。

①肘関節屈曲と伸展時の差し込み式ソケット内のソケット内圧と剪断力について⁷⁾

目的

差し込み式ソケットにおける肘関節運動時のソケット内圧と剪断力と関節可動域（ROM）を計測し、肘システム義手のソケットの形状を検討することであった。

対象

3名の健常男性とした。

方法

実験用のソケットをソケットの樹脂硬度をハード（617H19;haed8:soft2）とソフト

(617H;hard0:soft10) の2種類で作製した。実験用ソケットの外側と内側および前面と後面には圧力・剪断力センサー（ショッカチップTM: Touchensu Corporation）を取り付けるように設定した（図3）。

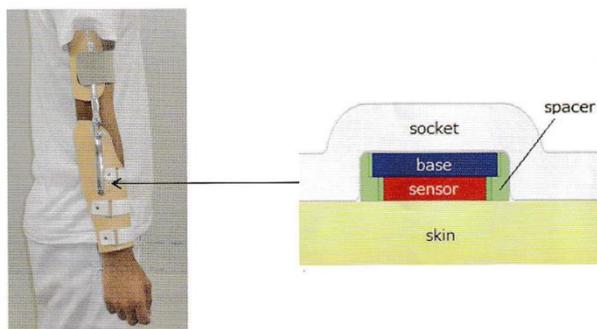


図3 実験用ソケット(文献7より引用)

肘関節のROMは、角度計を用いてセンサー取り付け前に計測した。ROM計測後、肘関節運動の速度をメトロノームで30bpmとして30回行わせた。

分析は、ハードソケットとソフトソケットのROMの比較、ハードソケットとソフトソケットの肘関節運動時のソケット内圧と剪断力の比較を外側と内側および前面と後面の各センサーで行った。

結果（図4・表1）

ROMは屈曲がハードソケットで $124.0 \pm 9.7^\circ$ 、ソフトソケットで $134.0 \pm 8.6^\circ$ であった（ $p < 0.01$ ）。伸展がハードソケットで $-6.0 \pm 8.0^\circ$ 、ソフトソケットで $-4.0 \pm 5.8^\circ$ であった（ $p = 0.177$ ）。

ハードソケットとソフトソケットの剪断力は、前面と後面および内側と外側で1N以内であった。ハードソケットとソフトソケットのソケット内圧は、ハードソケットでは後面と内側で高くなり、ソフトソケットでは外側の内圧が高くなった。

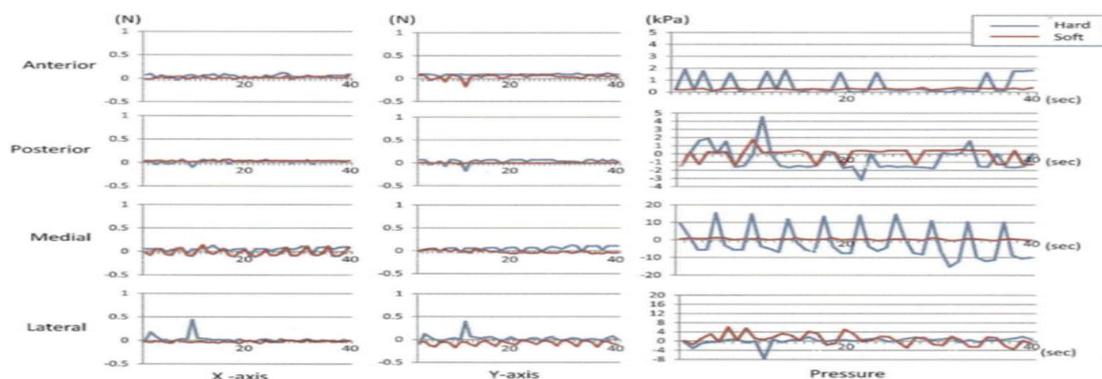


図4 肘関節運動中のソケット内圧と剪断力の変化

表1 AとBのハード・ソフトソケットのソケット内圧と剪断力

	Anterior											
	X-axis (N)				Y-axis (N)				Pressure (kPa)			
	hard		soft		hard		soft		hard		soft	
Participant	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
maximum	0.02	0.12	0.71	0.06	0.06	0.05	0.01	0.12	0.10	1.91	1.59	0.38
minimum	-0.34	-0.03	-0.03	-0.02	-0.04	-0.02	-0.10	0.03	-0.72	0.00	-0.10	0.08
difference	0.36	0.15	0.74	0.07	0.10	0.08	0.11	0.09	0.82	1.91	1.69	0.30
	Posterior											
	X-axis (N)				Y-axis (N)				Pressure (kPa)			
	hard		soft		hard		soft		hard		soft	
Participant	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
maximum	0.07	0.07	0.09	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	1.65	4.56	0.54	1.75
minimum	0.01	-0.10	0.02	0.01	-0.01	-0.18	-0.01	-0.04	-1.85	-3.18	-1.61	-1.47
difference	0.06	0.16	0.07	0.06	0.01	0.25	0.01	0.04	3.50	7.74	2.15	3.22
	Medial											
	X-axis (N)				Y-axis (N)				Pressure (kPa)			
	hard		soft		hard		soft		hard		soft	
Participant	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
maximum	0.38	0.13	0.03	0.14	0.15	0.12	0.07	0.05	1.38	15.44	1.78	1.27
minimum	-0.02	-0.10	-0.26	-0.12	0.00	-0.05	0.01	-0.07	-0.46	-15.18	0.36	-0.41
difference	0.41	0.23	0.29	0.25	0.15	0.17	0.07	0.11	1.83	30.62	1.43	1.68
	Lateral											
	X-axis (N)				Y-axis (N)				Pressure (kPa)			
	hard		soft		hard		soft		hard		soft	
Participant	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
maximum	0.10	0.44	0.14	0.00	0.19	0.39	0.23	-0.01	35.26	1.94	33.94	6.01
minimum	-0.02	-0.02	0.04	-0.06	-0.07	-0.10	-0.16	-0.18	-5.81	-7.54	-9.12	-3.62
difference	0.12	0.47	0.10	0.06	0.26	0.49	0.39	0.17	41.07	9.48	43.06	9.63

考察とまとめ

肘関節の ROM を拡大するためにはソケット樹脂硬度は軟性樹脂の割合を多くしたほうがよい。ソケットの硬度を高めると肘屈曲時に軟部組織がソケット内で圧迫され、それが要因で ROM の減少が生じた。

肘システム義手の力源である肘関節の ROM の確保と義手の装着性を向上させるためにはソケットの樹脂硬度が重要である。しかし、ソケットを軟らかくしすぎると断端の支持性が低下するため、肘関節屈曲に伴う軟部組織の変形の対応としてソケット外側をくりぬくこととした。

②模擬前腕能動義手による肘システム義手懸垂方法の検討

目的

目的は、断端長が前腕中断端 (AAOS70%以上) から手関節離断までの肘システム義手における懸垂方法を検討することであった。

対象

対象は健康成人 1 名とした。

方法と結果

方法は、研究代表者と義手の作製に豊富な経験を持つ義肢装具士 3 名によって考案された懸垂方法を模擬前腕能動義手で作製し、作製した義手の装着感と下垂力に対する安定性を測定した。義手の装着感は、NRS (Numerical Rating Scale) で行った。スケールの基準は 0 が「装着感が良い」、10 が「装着感が悪い」とした。作製した模擬前腕能動義手は、スタンプシュリンカーのみ (図 5A)、ソケットの形状を柵状にしてスタンプシュリンカー (451F10=XS30-N:ottobock.) を使用したもの (図 5B)、上腕カフの内側をシリコンコーティングしたもの (図 5C)、上腕カフに BoA システム (M1900 BOA キット : (株) 今仙技術研究所) 使用したもの (図 5D) であった。



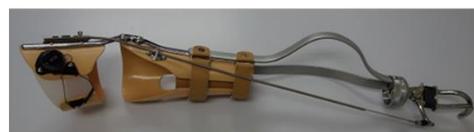
A スタンプシュリンカーのみ



C 上腕カフの内側をシリコンコーティングしたもの



B ソケットの形状を柵状にしてスタンプシュリンカーを使用したもの



D 上腕カフにBoAシステムを使用したもの

図5 考案した懸垂方法による模擬前腕能動義手

義手の装着感は、A3・B9・C5・D6 であった。A では、スタンプシュリンカーは軽度の締め付けはあるが通気性もよく 3 時間以上の使用でも装着感に変化がなかった。B はソケットを柵状にしたことで着脱が難しいこと、肘関節の ROM は良好であったが皮膚がソケットに挟まれた。C では装着直後は良かったが、徐々に上腕カフ部の皮膚に蒸れが生じた。D では懸垂性は良好であったが肘関節屈曲に伴う上腕部の筋膨大が制限された。下垂力に対する安定性はすべての懸垂方法で適合判定基準をクリアした。

以上の結果を経て、スタンプシュリンカーの通気性の良さを義手の懸垂に活用するために SAKAGE ストラップの使用を検討し、それによる模擬前腕能動義手を作製した (図 6)。SAKAGE ストラップは、スタンプシュリンカーの上腕部に縫着し、上腕カフ部と合わせて懸垂性を得るようにした。図 6 のような縫着でも上腕カフ部の SAKAGE ストラップと合わせれば義手の懸垂は可能であった。



図6 スタンプシュリンカーとSAKAGEストラップによる懸垂方法

まとめ

スタンプシュリンカーはシリコンライナーよりも通気性が良いため発汗によるズレ等を最小限にすることができる可能性がある。また、肘関節運動による軟部組織の変動にも対応できるため、これに SAKAGE ストラップをつけることで安定した義手の懸垂を得ることができると思われる。

4. 研究成果

肘システム義手におけるソケットの形状は、ソケットの外側部をくりぬくことで肘関節屈曲に伴う軟部組織のソケット内での圧迫を回避し、十分なROMを得ることができた(図7)。ソケットのくりぬきは、前腕短断端であってもシリコンライナー装着による断端をソケット内に収納し、ライナーロックアダプタによる懸垂が十分であるため、問題はなかった。



図7 前腕短断端用のソケット

肘システム義手の懸垂は、スタンオウシュリンカーと SAKAGE ストラップを組み合わせることで、断端長が前腕

中断端以上の切断者にも対応できる可能性を示唆した。

よって、本研究は肘システム義手をより多くの前腕切断者に提供できる可能性を示唆した。

<引用文献>

- ①澤村誠志、切断と義肢、第1版、2007、p108
- ②妹尾勝利、石浦佑一、西本哲也、東嶋美佐子：上腕能動義手の手先具操作における筋活動と酸素摂取に関する研究．川崎医療福祉学会誌，15（1）：217-226、2005
- ③妹尾勝利、小林隆司：肘関節運動を力源とした前腕能動義手制御システムの開発（第1報）．義装会誌，25（4）：216-220、2009
- ④妹尾勝利、小林隆司、石原健、今川裕輔：肘関節運動を力源とした前腕能動義手制御システムの開発（第2報）- 体験用前腕能動義手における筋電図学的分析と酸素摂取量の検討 - ．義装会誌，26（4）：252-259、2010
- ⑤妹尾勝利、小林隆司、石原健、今川裕輔：肘関節運動を力源とした前腕能動義手制御システムの開発（第3報）- 事例による肘システム義手の懸垂と手先具の操作について - ．義装会誌，27（3）：174-177、2011
- ⑥妹尾勝利、石原健、富山弘基、今川裕輔、井上桂子、小野健一、藤田大介、吉村洋輔、小原謙一、黒住千春：肘関節運動を力源とした前腕能動義手の紹介．義装会誌，29（4）：266-269、2013
- ⑦Katsutoshi SENOO, Daisuke FUJITA, Kenichi KOBARA, Manabu YOSHIMURA : Changes in Shear Force and Inward Pressure inside the Plug-Fit Socket due to Flexion and Extension of the Elbow Joint. Kawasaki Journal of Medical Welfare, 23（2）：59-64、2017

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Katsutoshi SENOO, Daisuke FUJITA, Kenichi KOBARA, Manabu YOSHIMURA	4. 巻 23
2. 論文標題 Changes in Shear Force and Inward Pressure inside Plug-fit Sockets Due to Flexion and Extension of the Elbow Joint	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Kawasaki Journal of Medical Welfare	6. 最初と最後の頁 59-64
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Katsutoshi SENOO, Daisuke FUJITA, Kenichi KOBARA, Manabu YOSHIMURA	4. 巻 23
2. 論文標題 Changes in Shear Force and Inward Pressure inside the Plug-Fit Socket due to Flexion and Extension of the Elbow Joint	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Kawasaki Journal of Medical Welfare	6. 最初と最後の頁 59-64
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 妹尾勝利、石原健、富山弘基、今川祐輔、鴨生賢悟
2. 発表標題 肘関節運動に伴う差し込み式ソケット内の剪断力と内圧の変化
3. 学会等名 第33回日本義肢装具学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----