

掌屈位での 把持動作可能システムの開発

北海道ハイテクノロジー専門学校

義肢装具士学科

メンバー H14300001 天羽圭太

H14300006 大塚芳美

H14300015 佐藤一葉

担当教員 本道伸弘先生

目次

第 1 章 研究背景.....	2
第 1 節 本研究について.....	2
第 2 節 脊髄損傷について	2
第 3 節 把持装具の分類とデザイン	6
第 4 節 デザインによる分類	9
第 5 節 手関節駆動装置の種類.....	12
第 6 節 既存の把持装具の問題点	15
第 7 節 研究目的	15
第 2 章 研究方法.....	16
第 1 節 既存の把持装具.....	16
第 2 節 オリジナル装具について	17
第 3 節 装具の評価方法.....	24
第 3 章 研究結果および考察.....	27
第 1 節 簡易上肢機能検査の点数	27
第 2 節 筋肉の活動電位の計測と動作解析.....	33
第 3 節 考察.....	34
第 4 節 まとめ	37

第1章 研究背景

第1節 本研究について

把持装具が、第6頸髄機能残存の脊髄損傷患者や把持機能に障害がある患者に適応するとされている¹⁾。しかし、装着が難しくADLの向上に大きく貢献しているとはいえず、実際に多くの患者が利用しているとはいえない。現在の把持装具、特に手関節駆動式把持装具は手関節背屈によるテノデーシスアクションによって物を把持する事ができる構造となっている。テノデーシスアクションを用いて、背屈動作で対象物を把持しようとする手と手が対象物から離れてしまう。そのため、肩や肘の代償動作を行う必要がある。使用者側の問題点としては、テノデーシスアクションを用いた把持動作を使用したADL動作には限りがあり、ADL上では、ごく一部の動作しか行えないのが現状である。把持する3指が対象物に近づくことで、把持動作ができ、把持したまま他の動作を行えると、可能なADL動作が格段に増えると考えられる。

第2節 脊髄損傷について

脊髄損傷とは、脊椎の骨折や脱臼などの直接外力や間接外力が原因で脊柱管内の神経要素である脊髄が損傷される病態である。脊髄が損傷されると四肢や体幹の運動、感覚障害を引き起こす。自律神経の障害も生じるため、循環動態の障害、排尿、排便障害などの様々な障害が生じる。損傷レベルが高位になるほど麻痺の範囲は大きく、障害の程度も重度となる。

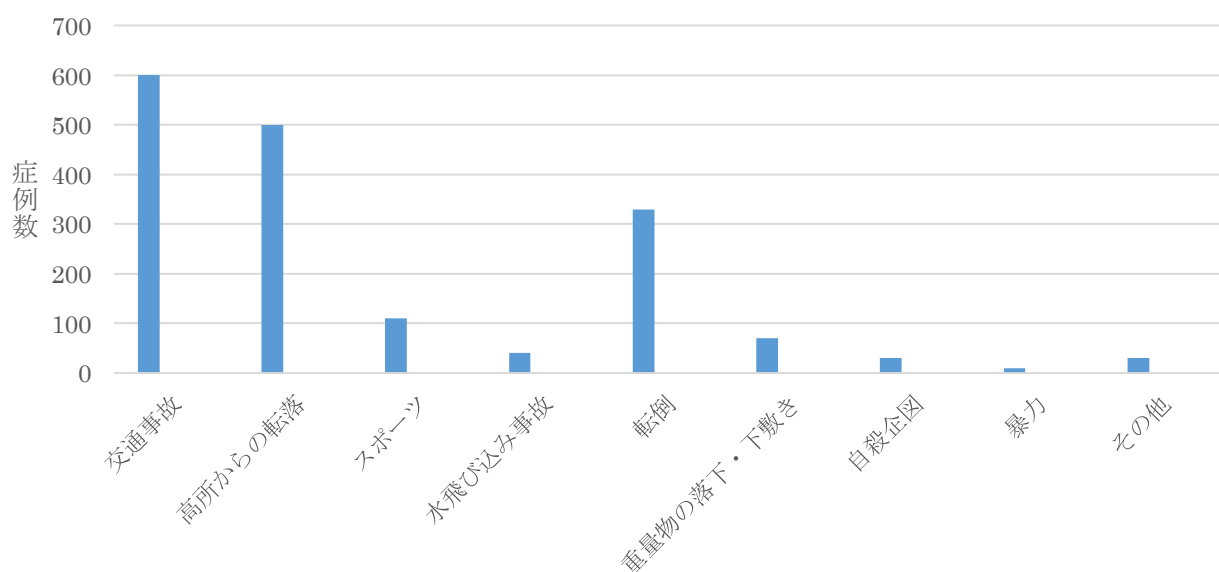
第1項 脊髄損傷の分類

脊髄は頸髄（C1～C8）、胸髄（T1～T12）、腰髄（L1～L5）、仙髄（S1～S5）に分けられている。そして各髄節の左右から対になって脊髄神経が出る。脊髄が損傷されて最も下位にある髄節が、損傷高位であり、損傷高位は損傷レベルとしても使われる。損傷高位は第6頸髄の機能は正常で第7頸髄の機能が麻痺した際は、神経損傷高位診断では第6頸髄節レベルとなる。脊髄損傷には大きく分けて完全麻痺と不全麻痺がある。損傷脊髄神経節から最下位神経節までの間に運動機能と感覚機能の両方が全て損失しているものが完全麻痺となり、両方または一方が残存しているものが不全麻痺となる。

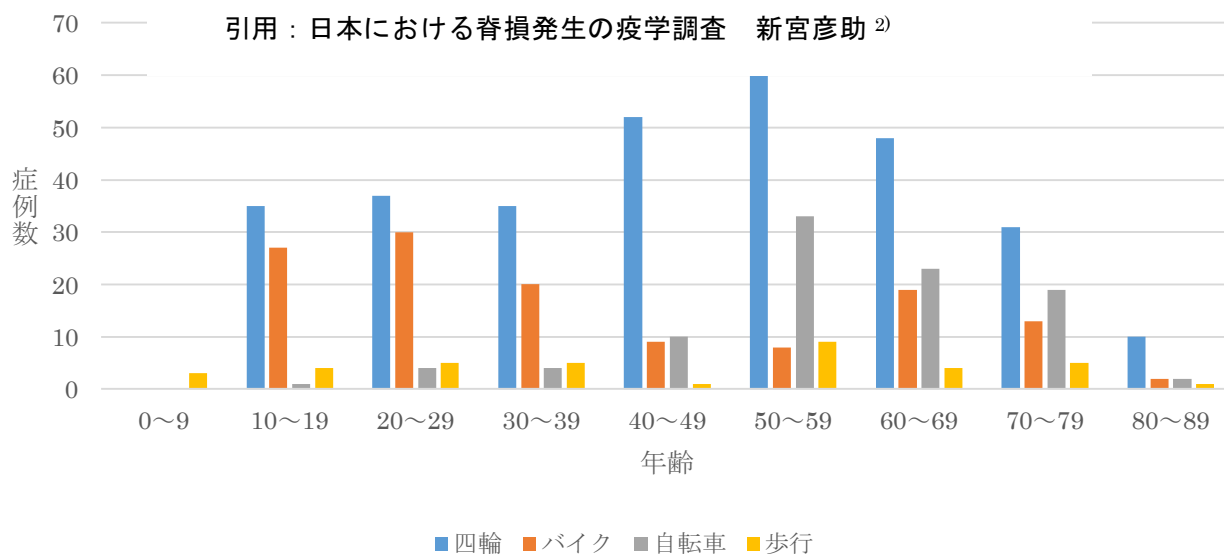
第2項 脊髄損傷の受傷起因

脊髄損傷の主要な受傷原因は、交通事故、高所よりの転落、及び路上あるいは屋内における転倒の順であった²⁻⁵⁾。しかし、損傷高位別に見ると、交通事故が頸髄及び胸髄損傷の第一原因となっているが、胸・腰髄移行部損傷及び腰・仙椎部損傷では転落事故例がむしろ最多であった（図 1-1）。

受傷原因で一番多かった交通事故では、四輪車、バイクに次いで自転車事故の順であったが、年代別に見ると、青壮年層では四輪車に次いでバイク事故の割合が大きく、他方、50歳代以降の高齢者では自転車事故が四輪車に次いでおり、しかもその約 26%には飲酒が関与している（図 1-2）。



（図 1-1）受傷原因



（図 1-2）交通事故別

引用：日本における脊損発生疫学調査 新宮彦助²⁾

第3項 主要髄節と機能

- ・ C1~3 は胸鎖乳突筋、僧帽筋が残存しているが、横隔膜が働かないため人工呼吸器が必要となる。日常生活は全面介助である。
- ・ C4 は胸鎖乳突筋、僧帽筋が残存しており、頭部動作、肩甲骨挙上が可能である。三角筋以下の上・下肢筋は全て不能であるが、横隔膜は働くため自発呼吸が可能で、車椅子操作は基本介助となる。
- ・ C5 は三角筋、上腕二頭筋、回外筋が残存しており、肩関節外転・伸展・屈曲、肘関節屈曲、前腕回外が可能である。自力での移乗、寝返りや座位は不可となる。
- ・ C6 は長・短橈側手根伸筋、円回内筋、前鋸筋、大胸筋、が残存しており、手指機能は不能だが手関節背屈・橈屈、前腕回内が可能で、広背筋も不全だが機能している。車イス操作はノブ付キリムなどで一部介助から自走レベルとなり、移乗はトランスファーボードで自立、座位でのプッシュアップが可能となる。
- ・ C7 は上腕三頭筋、橈・尺手根屈筋、総指伸筋が残存しており、手関節機能は完全可能、肘関節の伸展が可能だが母指機能、手指の屈曲は弱い可能性がある。車椅子は自立レベルで寝返り、起き上がり、座位での移動が可能である。
- ・ C8 は浅指屈筋、深指屈筋、総指伸筋、母指機能は残存しており、手指屈筋は完全実用的握力だが、指の内外転、つまみ動作は不完全となる。ベッド上での動作、トランスファー、身の回りの動作は自立している。
- ・ T1 は短母指外転筋、小指対立筋が残存しており、上肢機能は完全となる。
- ・ T2~T12 は肋間筋、腹直筋、脊柱筋が残存しており、下位に行くほど肋間筋、腹筋、傍脊柱筋が多く加わる。
- ・ L1 は腸腰筋、腰方形筋が残存しているが、腸腰筋はわずかに機能するのみで弱い
- ・ L2 は腸腰筋、内転筋群は残存しているが内転筋群は弱く大腿四頭筋は不能となる。股関節屈曲は十分だが、内転は弱い。
- ・ L3 は腸腰筋、内転筋群、大腿四頭筋が残存している。大腿四頭筋の機能は弱いが作用は可能で股関節内転は十分だが、膝関節伸展は弱い。短下肢装具や松葉杖による歩行が可能だが車イスの方が実用的な場合が多い。深部反射は膝蓋腱反射減弱となる
- ・ L4 は大腿四頭筋、前脛骨筋、が残存しており、膝関節伸展は十分で足関節の背屈・内反がかのうとなる。深部反射は膝蓋腱反射の出現、アキレス腱反射の消失となる。
- ・ L5 は小殿筋、中殿筋、内側膝関節屈筋群、が残存しており、股関節外転が可能となる。股関節伸展は弱く、外側膝関節屈筋群、足関節底屈筋、外反金は不能である。
- ・ S1 は大殿筋、外側膝関節屈筋群が残存しており、膝関節の屈曲、足趾の伸展が可能となる。大殿筋、ヒラメ筋、腓腹筋、足趾伸筋、足趾屈筋の機能は弱いが可能となる。しかし足趾屈曲は乏しく、大殿筋、下腿三頭筋の機能は不十分である。深部反射はアキレス腱反射が出現する。

上肢の機能評価分類では、Zancolli の分類（表 1-1）が多く用いられる。

Zancolli の分類とは、頸髄損傷者の上肢機能を細かく分類し、残存機能をひとことで表現できる分類である。

分類方法は、患者の残存機能の最下位髄節によって C5 から C8 までの 4 群に分け、それぞれをさらに残存機能によって A と B の 2 つのグループに分ける。C6 髄節機能残存患者だけは、グループ B を、さらに 1～3 のサブグループに分ける。

表のマイナスの表記が残存しない機能であり、プラスの表記が残存している機能である。

（表 1-1）Zancolli の分類

C5	上腕二頭筋 上腕筋	A	腕橈骨筋（－）
		B	腕橈骨筋（＋）
C6	長橈側手根伸筋 短橈側手根伸筋	A	手関節背屈が弱い
		B	手関節背屈が強い I 回内筋（－） 橈側手根伸筋（－） II 回内筋（＋） 総則手根伸筋（＋） III 回内筋（＋） 橈側手根伸筋（＋） 上腕三頭筋（＋）
C7	総指伸筋 小指伸筋 尺側手根伸筋	A	尺側の指の完全な伸展 母指と橈側の指の麻痺
		B	指の完全な伸展 ただし母指の進展は弱い
C8	長母指伸筋 尺側手根屈筋 深指屈筋	A	尺側の指の完全な屈曲 橈側の指と母指の屈曲の麻痺 完全な母指の伸展
		B	全ての指の完全な屈曲 母指の屈曲は弱い 手の手内在筋の麻痺 浅指屈筋

（引用：標準整形外科学 第 12 版

第4項 残存レベルと機能的可能性と把持能力

C4 残存レベルでは全介助で運動可能は頭部のみ。

C5 残存レベルでは自力での座位、寝返りは不可となり、手関節の運動も不能となる。また、物を持つ際は両手を使って物を持つことが多い。長対立装具（ロングオポーネンス）、背側手関節装具、BFO（balanced forearm orthosis）、電動車椅子、手動車椅子が必要となる。

C6 残存レベルではベッド上での寝返り、座位、更衣（上半身）が可能となる。把持装具、万能カフの使用でADLが向上する。装具装着や肢位の確保が困難なため座位時のプッシュアップが可能であるが難しい。手指筋は残存しないのでテノデーシス作用を使った、把持装具での把持が可能となる。

C7 残存レベルでは車椅子が必須となる。寝返り、座位、起き上がりが可能になる。また、道具の柄などを工夫して握力を補う。手動式車椅子、身障者用自動車の運転が可能となる。

第3節 把持装具の分類とデザイン

第1項 把持装具について

把持装具とは把持機能（母指、示指、中指による三点摘み）を再現する装具である。示指、中指を金属もしくはプラスチックで保持しながらMP関節部に可動性をもたせ、支柱を使用し母指を対立位に保持しテノデーシス作用を利用することで手関節伸展運動（手関節背屈）によりMP関節を屈曲させ三点摘み動作を行う装具である。

把持装具は、利用する力源から様々なものに分類される。指駆動式、手関節駆動式、体外力源駆動式などがあり、把持装具の形式には様々なデザインや特徴がある。

第2項 テノデーシス作用とは

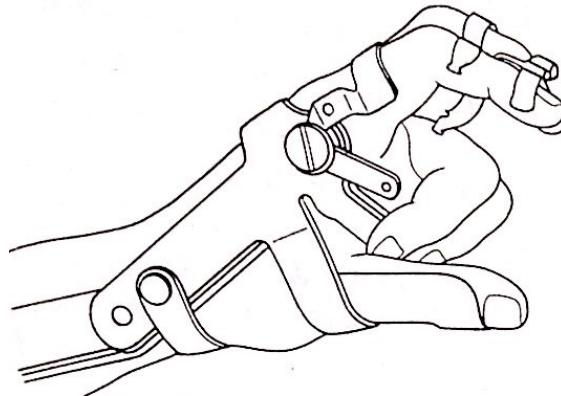
テノデーシス作用とは手関節を背屈すると手指が屈曲し、手関節を掌屈すると手指が伸展する動作である。これにより把持が行える。この動作には長橈側手根伸筋と短橈側手根伸筋を必要とする。この筋が機能しない場合は腱固定術により機能の復元を行う。腱固定術とは変形の矯正、関節良肢位の保持に用いられ腱の断端を骨中に埋めて固定するものである。また腱固定術は手の機能再建のために行われるものであり、代表例は頸髄損傷で手指屈筋が麻痺した場合に用いられる。

第3項 把持装具の形式と適応

・指駆動式 (図 1-3)

指駆動式把持装具は屈曲補助式・伸展補助式の二種類がある。

力源は、ばねの作用となり屈曲補助用ばねでは指屈曲動作の補助を行うものである。伸展補助用ばねでは同様に指の伸展動作の補助を行うものである。適応条件には手関節屈伸筋、手指伸筋が MMT4 であり母指対立筋は MMT3 が適応となる。残存レベルは C7・C8 の残存レベルが適応となり屈曲補助式が多く普及している。



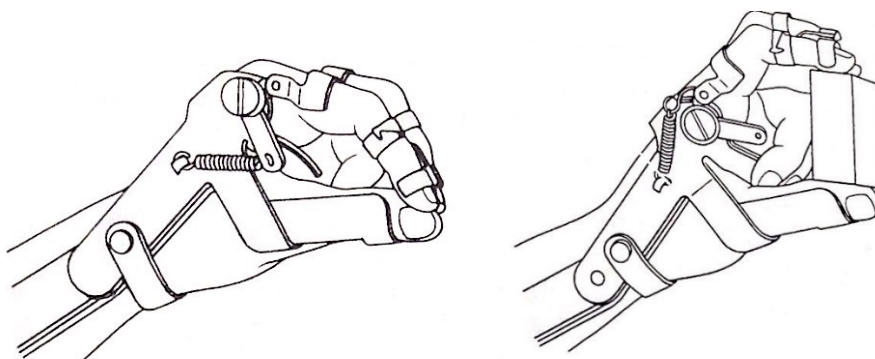
(図 1-3) 指駆動式

・手関節駆動式 (図 1-4)

手関節駆動式は手関節の背屈により示指、中指を機械的に屈曲させ対立位にある母指との間で把持を行うものである。手関節駆動式の力源は屈筋腱固定術の原理を応用している。適応としては手関節伸筋が MMT4 で、前腕回内・手関節および MP 関節の可動域が正常で母指・示指に拘縮がないものが適応となる。

また手関節 45°伸展位で 1.4 kg を保持できること、前腕回内が正常域で手関節、示指、中指の MP 関節が機能的可動域を保てるものとなる。

残存レベルでは C6 である。以前はランチョ型が使用されていたが現在はエンゲン型のものが広く普及されている。



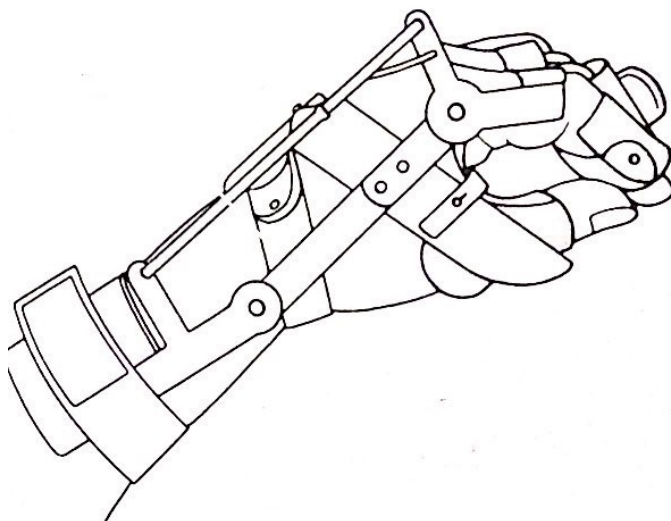
左:屈曲補助式

右:伸展補助式

(図 1-4) 手関節駆動式

・つめ車駆動式（図 1-5）

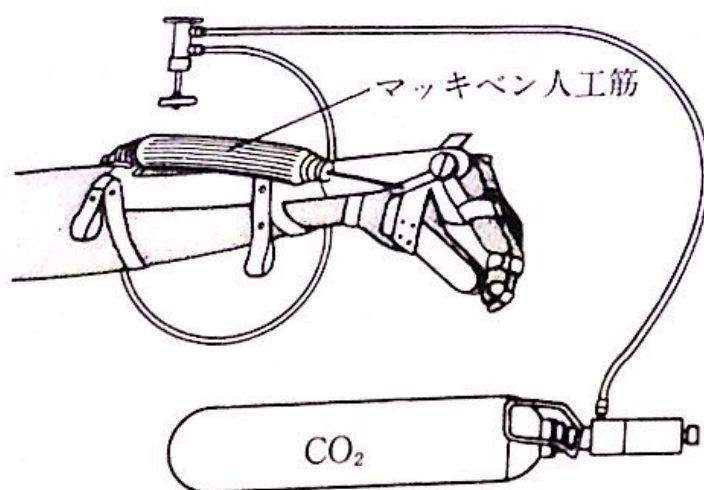
つめ車（ラチェット）を付け、指を任意位置に他動的に固定するもの。肘関節・前腕回内筋の MMT4 で、手関節および MP 関節の可動域が正常で、母指・示指間に拘縮のないものが適応となる。残存レベルは C5、腕神経叢（全型）である。



（図 1-5）つめ車駆動式

・体外力源駆動式（図 1-6）

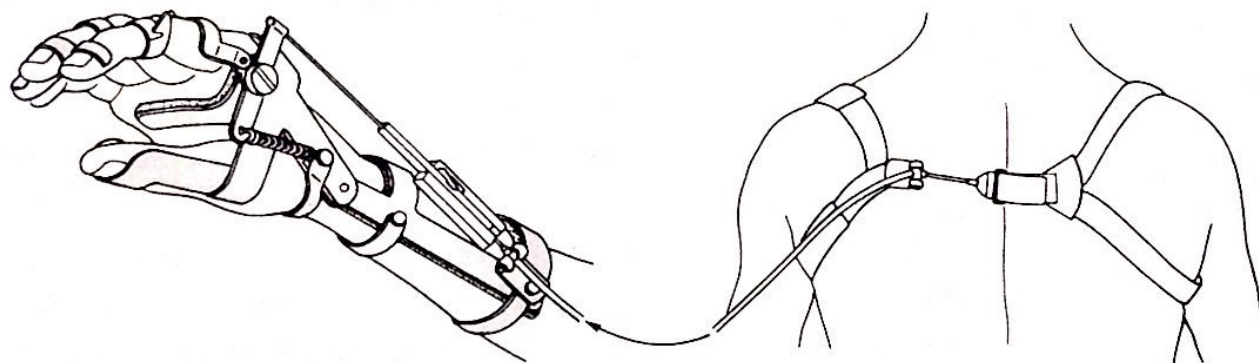
空圧または電気など外部力源により駆動させるもの。つめ車駆動式と同様の適応で、残存レベルは C5 となる。



（図 1-6）体外力源駆動式

・肩駆動式 (図 1-7)

能動義手の操作と同様に、肩甲骨の運動を用いてハーネスとコントロールケーブルにより駆動させるもの。健側肩甲帯ならびに観測手関節・MP 関節の可動域が正常で母指・示指間に拘縮のないものが適応となる。残存レベルは C5、片麻痺（痙性中程度）である。

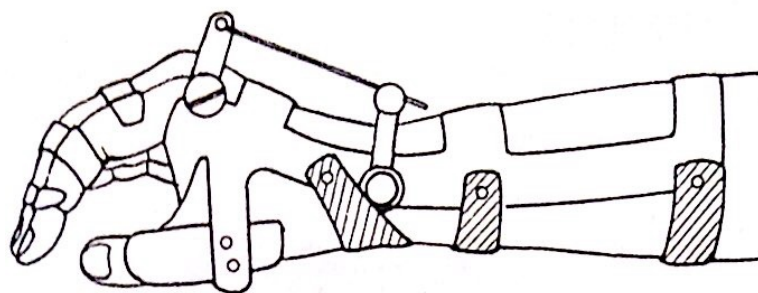


(図 1-7 肩駆動式)

第 4 節 デザインによる分類

・ランチョ型 (図 1-8)

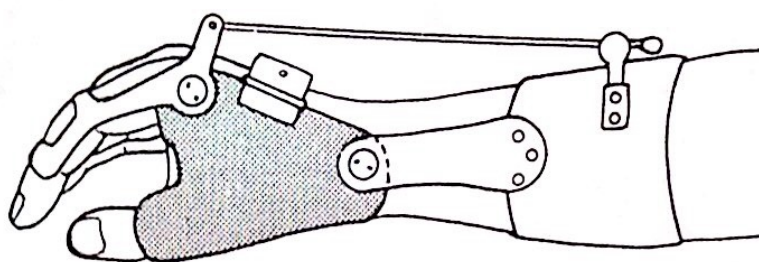
アメリカの Rancho Los Amigos 病院で 1950 年代後半に開発された軽合金製の最も標準的なもの。金属製の指部品と、手掌から橈側を通して背側へ U 字型に伸びた日本の金属製バンドがその外形を形成する。



(図 1-8) ランチョ型

・エンゲン型 (図 1-9)

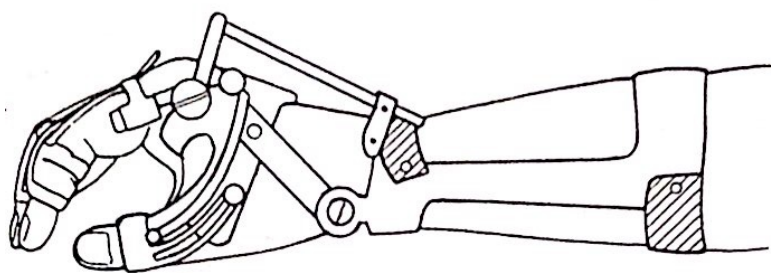
アメリカの Texas Institute of Rehabilitation and Research(TIRR)の Engen によるもの。小アーチと対立バーが一体化されたプラスチック製単対立装具、軽合金製の指カフおよび前腕部とリンクからなる。患者のサイズに合わせたモジュラー型が用意されている。エンゲン型装具の問題点として、リンクの中枢取り付け部（固定レバー）が他のタイプより近位に取り付けられているため、把持装具の効率は手関節するにつれて低下することがあげられる。そのためリンクの中枢取り付け位置をオリジナルの部位よりもっと遠位にすることで防げる。



(図 1-9) エンゲン型

・ウィスコンシン大学型 (図 1-10)

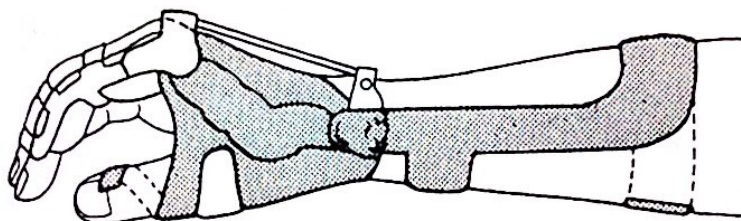
アメリカ・ウィスコンシン大学の Engel による軽合金とステンレス鋼製の把持装具である。指カフの着脱が容易であり、しかもグリップにより母指支えの可動性があるという特徴を持っている。



(図 1-10) ウィスコンシン大学型

・IRM 型 (図 1-11)

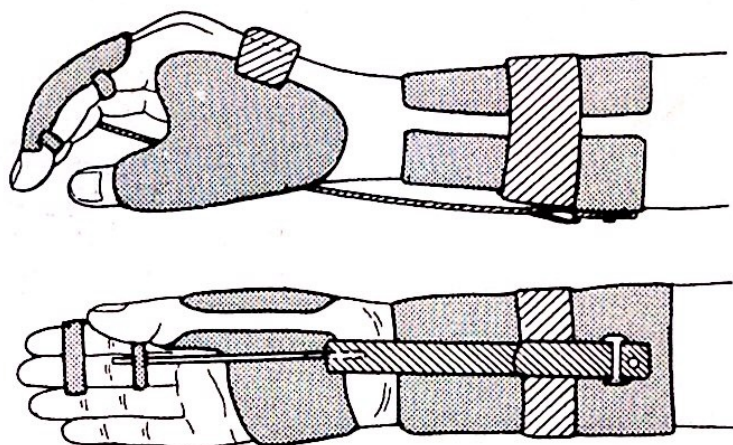
アメリカ・ニューヨーク大学 Institute of Rehabilitation Medicine (IRM) で開発された装具である。手指部分および前腕部がらせん形の nyloplex 製で、金属製ラチェットで接続されている。



(図 1-11) IRM 型

・RIC 型 (図 1-12)

アメリカ Rehabilitation Institute of Chicago (RIC) で開発された熱可塑性プラスチック材の装具である。他のデザインと異なり、手関節の動きを手指に伝えるリンクが棒状ではなくバンド・鎖でできており可撓性があるため、手関節の可動域が制限されないという特徴を持っている。



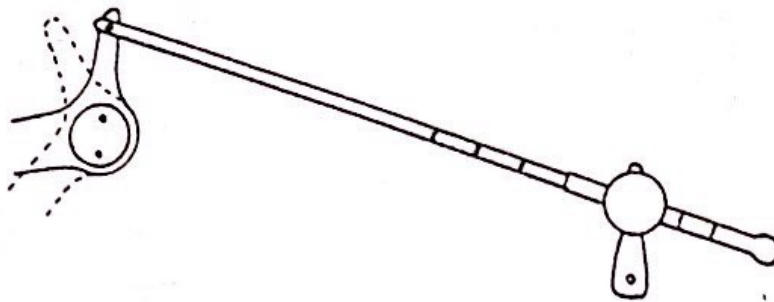
(図 1-12) RIC 型

第5節 手関節駆動装置の種類

手関節駆動装置は、手関節を背屈した時に第2, 3指を屈曲させ、母指との間でピンチ動作を可能にするものである。手関節駆動装置を調整することでピンチが起こる位置を変えることができる。

・エンゲン・システム (図 1-13)

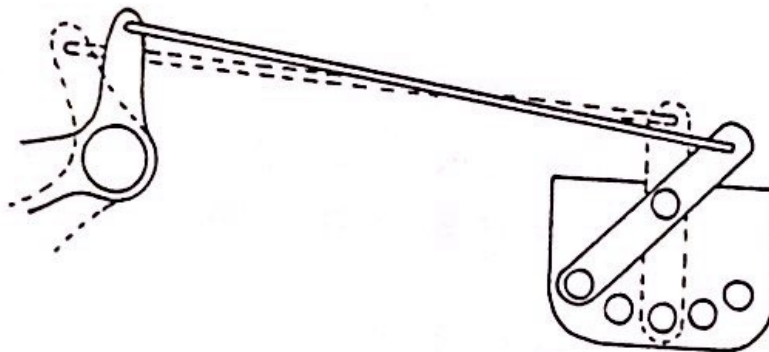
金属製のテレスコピック・ロッドに刻まれた溝の位置をずらすことによってピンチの起こる位置を変更することができる。ロッド先端は指部品に接続し、近位端はスプリングロック装置で固定されている。



(図 1-13) エンゲン・システム

・コンラディ・システム (図 1-14)

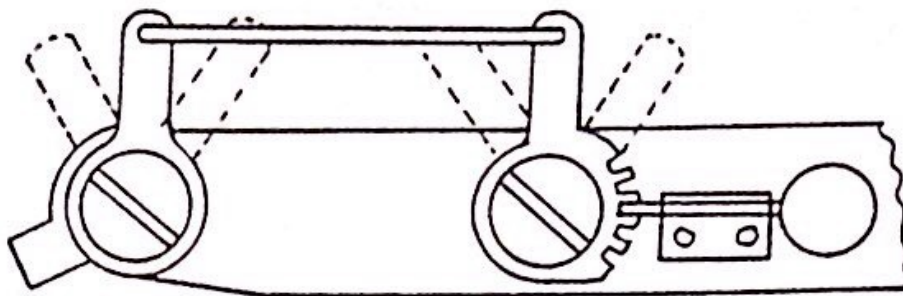
等間隔で半円状にあけられた金属プレートが前腕部品に取り付けられ、ロッド近位端はプレートの軸の周囲を動くレバーアームに接続される。レバーアームの反対側のピンが金属プレートの穴にはまり、ばねの弾力により位置がずれない構造である。



(図 1-14) コンラディ・システム

・ジェイコ・システム (図 1-15)

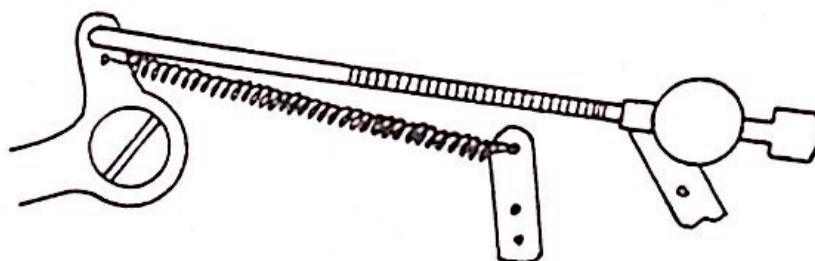
アクチュエーター・ロッド遠位端は指部品に、近位端はアクチュエーティング・プレートに接続される。アクチュエート操作レバーは手関節近位に取り付けられ、リスト位置の変更は操作レバーを押し、プレートの溝の位置を移動することにより角度を変える。



(図 1-15) ジェイコ・システム

・ラチェット・システム (図 1-16)

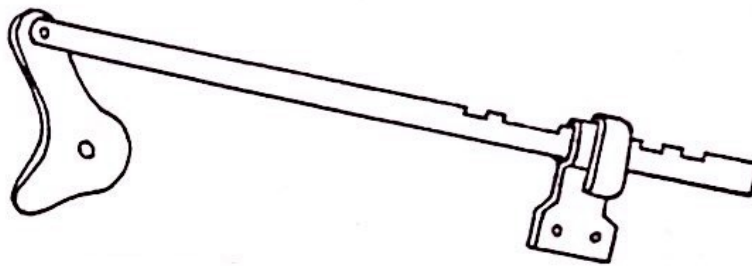
V字形の切り込みがあるラチェットバーと、ラチェットを任意の位置で固定するスプリングロックおよび指の伸展補助スプリングにより構成される。ピンチ動作を行う場合、ラチェットバーの近位端に取り付けられたボタンを任意の位置まで押し込むとその位置で固定される。解除する場合、スプリングボタンを押すと伸展バネの張力により指が伸展する。



(図 1-16) ラチェット・システム

・ ウィスコンシン大学型エンゲル・システム (図 1-17)

平らなアクチュエーター・ロッドの先端が指部品に接続され、手関節部に取り付けた固定装置の中を滑る構造である。ロッドにはコの字形の切り込みがあり、スプリング式クリップでロックする。



(図 1-17) ウィスコンシン大学型エンゲル・システム

・ RIC システム

RIC システムのアクチュエーター・ロッドは金属を使用せず、軟らかい紐とストラップにより構成される。示指と中指の背側をおおう指部品の中に紐がつけられ、手掌を通り前腕部品の掌側中央に結ばれる。リストの位置変更は、ストラップの長さを調整することにより変える。

第6節 既存の把持装具の問題点

第1項 製作上の問題点

把持装具製作上の問題点としては、いくつかの問題点があげられる。

製作の時間が必要にかかってしまい熟練を要することや、体幹装具や下肢装具に比べて、細かな修正が必要となり、適合不良が多い点、そして義肢装具士が製作するよりも病院内の作業療法士が製作する方が調整を行う事が容易に出来る点などがあげられる。

第2項 使用する際の問題点

使用する際の問題点としては、把持装具の手関節背屈制限により、プッシュアップ動作が不都合になる点や、把持動作にはテノデシス作用を使い、把持しようとした対象物から手指が離れてしまい、肩や肘の代償動作が必要となる点、また把持装具の大きさにより服の袖などに引っかかり使いにくい点、また見た目が悪い点などがあげられる。

第3項 把持装具の問題点

佐賀医科大学の渡辺が1997年に行った⁶⁾、手関節・手指装具についてのアンケートによると(以下渡辺の論文とする)把持装具の問題点としては、ピンチ動作は行えるがピンチ動作を使用したADL動作には限りがある。それにより、ADL上では、ごく一部の動作しか行えないのが現状である。また下肢装具とは違い上肢装具は装着率の悪さが印象的であり、これは窮屈さが原因となっている。

他には手関節背屈位で把持したまま手関節掌屈位への角度調整が出来ないという問題点もあげられる。この問題点は、筋力低下がみられる患者の背屈位の維持が行えない場合問題となる。また前腕部のベルクロなどでの固定には、反対側の手指のピンチ力が必要となる点などがあげられる。

第7節 研究目的

本研究は掌屈位で把持ができ、背屈動作のみでコントロールが可能にするシステムを開発することを目的とする。

第2章 研究方法

第1節 既存の把持装具

オリジナル把持装具の製作にあたり既存の把持装具の構造を理解し、オリジナル把持装具との比較対象とするため、学校に展示してあった把持装具（フレクサーヒンジスプリント）を分解した。構造は、テノデーシス作用を利用した手関節駆動式エンゲン型、駆動装置はJaeco systemを採用している（図2-1）。



（図 2-1） 手関節駆動式エンゲン型

第2節 オリジナル装具について

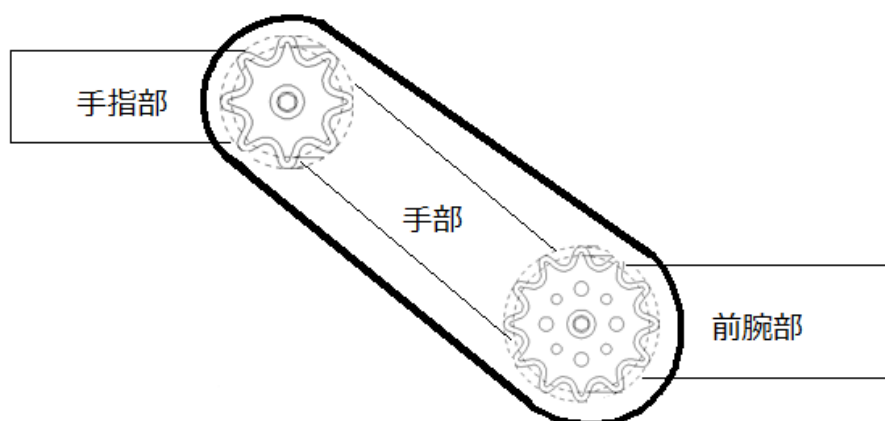
私たちの開発した装具は、ラダーチェーンとスプロケットを使用し掌屈動作で把持を可能にすることができる機構を取り付けた装具である。

第1項 オリジナル装具第1案の製作

(1) 簡易的に製作

第1案は、プラスチック板の端材を用いて機構のみの製作とした（図2-2）。

前腕部の手関節部に直径30mmのスプロケットと、手部のMP関節部に直径20mmのスプロケットを取り付け、その2つをラダーチェーンで繋ぎ連動させた。



（図2-2） 第1案

(2) オリジナル装具第1案の問題点

手関節部にスプロケットを取り付けると、背屈動作でMP関節が屈曲してしまいテノデシス作用と同じになってしまった。

第2項 オリジナル装具第2案の製作

(1) 採型

採型は、装具に前腕支持部・母指対立位に保つための手部・母指と示指、中指を対立する手指ピースが必要となるため、前腕部から母指と示指から小指先端までをトリミングした。

採型肢位は、母指対立位、手関節背屈 25°、PIP 関節を軽度屈曲に設定して採型を行った。

(2) モデル修正 (図 2-3)

機構取り付け部はスプロケットやラダーチェーンを取り付けるため手関節軸と直角な平面にした。

その際、MP 関節と手部近位を同じ高さにするため、MP 関節は盛らず手部近位は 15mm ほど盛り修正を行った。



(図 2-3) 陽性モデル

(3) 手指部製作

手指ピースは示指と中指の MP 関節から指先までを陽性モデルにレストラ 3 mmを手絞りで成型した。

示指、中指 DIP 近位でトリミングし、PIP 関節部分に手指ピースがあたるのを防ぐため、直径 10mm の穴を 2 つ開けた。

(4) 前腕部製作

前腕支持部は尺骨茎状突起から前腕遠位 1/3 までを陰性モデルに PP4mm を手絞りで成型した。手部と連結するために、橈側は手関節軸までトリミングした。

(5) 手部製作 (図 2-4)

手部ピースは樹脂注型を行い、強度を高めた。硬化後は MP 関節の可動域を制限しないレベルでカットし、母指は IP 関節近位レベルでトリミングを行った。

積層材はテトロンフェルト 1 枚、ストックキネット 4 枚を使用した。



(図 2-4) 手部ピースの樹脂注型

(6) 機構の取り付け (図 2-5)

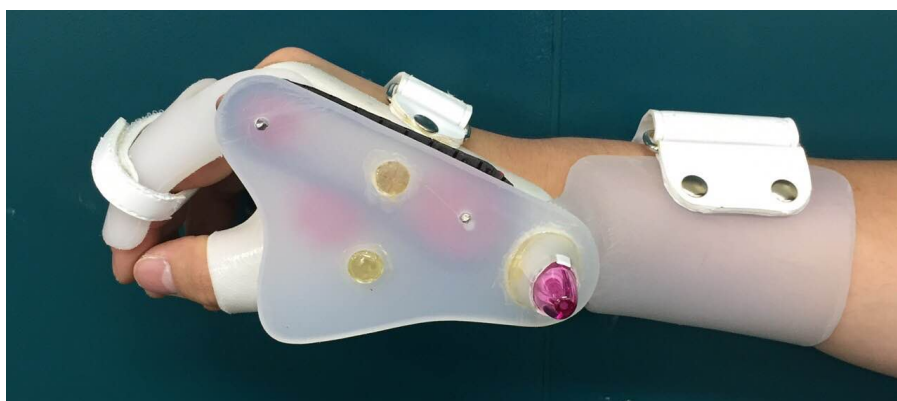
オリジナル装具第一案の問題点を解決するため、前腕支持部の手関節部に直径 25 mm のギア (以下、手関節ギアとする) を取り付けました。

手関節ギアに噛み合うように、手部に軸を設定し直径 20mm ギアを取り付けた (以下、手部ギアとする)。

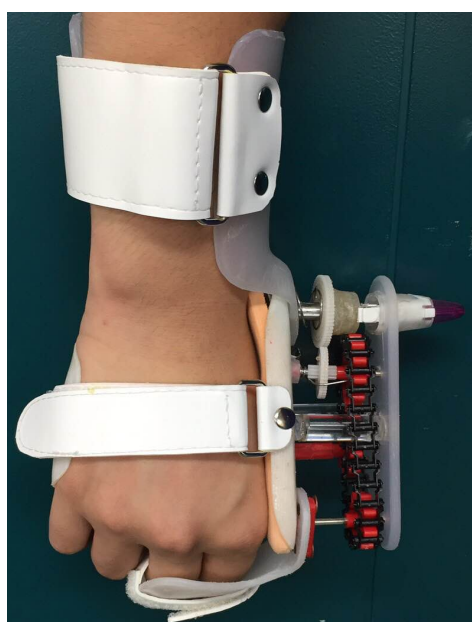
手部ギアの同軸上に直径 30mm のスプロケットを取り付け 1 号機同様に MP 関節のスプロケットとラダーチェーンで繋ぎ連動させた。

手部ギアとスプロケットには背屈をした際、掌屈を補助するバネ (以下、補助バネとする) を取り付けました。

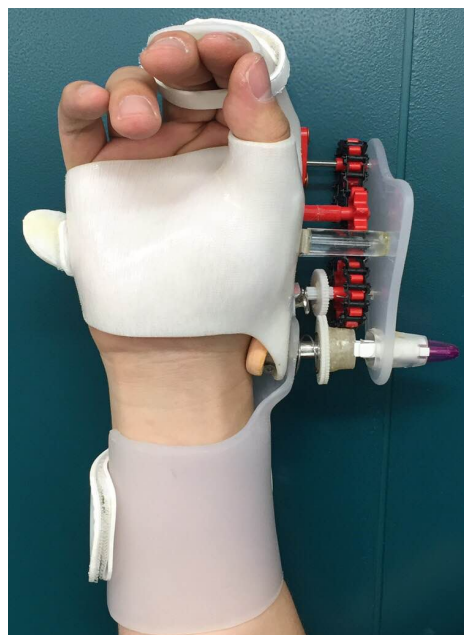
補助バネは線径 8mm のバネを使用した。



側面



上面

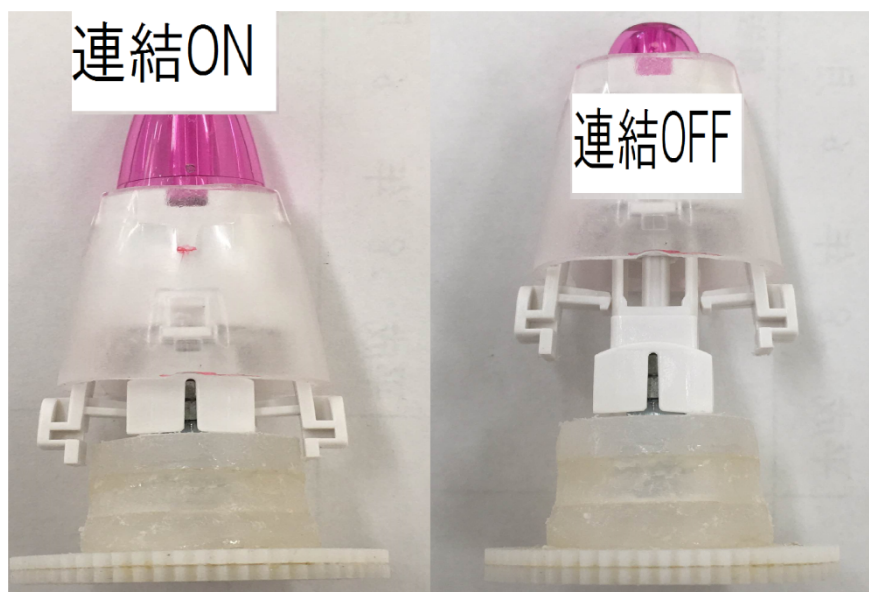


底面

(図 2-5) 機構の取り付け

(7) 連結の ON/OFF 機能 (図 2-6)

手関節ギアの上部にロック式修正テープのロック機構を取り付け、手関節ギアを上下に動かせるようにした。手関節ギアを下にすることで手部ギアとの連結を取り、補助バネが効きピンチをしたまま背屈ができる機構を取り付けた。



(図 2-6) ON/OFF 機能

(8) オリジナル装具第 2 案の問題点

- ・ 手部に直接機構を組んだため、歪みが生じた。そのため、手関節ギアと手部ギアの噛み合いが悪く補助バネの力に負けてしまい歯車の歯が滑ってしまった。
- ・ ギアが滑ってしまったことでスプロケットを回すことができなかった。

第 3 項 オリジナル装具第 3 案の製作

(1) モデル修正

第 3 案では手部に直接機構を取り付けないため、機構部分の修正は行わず、表面をならす程度にした。

(2) 手部ラミネーション、トリミング

今回のラミネーションでは、前回同様テトロンフェルト 1 枚、ストッキネット 4 枚で行った。

トリミングも第 1 案と同様とした。

(3) ギアボックスの製作 (図 2-7)

第 3 案は、第 2 案の問題点を改善するために、ギアボックスを製作し軸がブレない様にした。

ギアボックスの設定は第 2 案と同様で、ON/OFF 機能は除いた。

補助バネの線径を 8mm から 12mm へと変更し補助力を強くした。

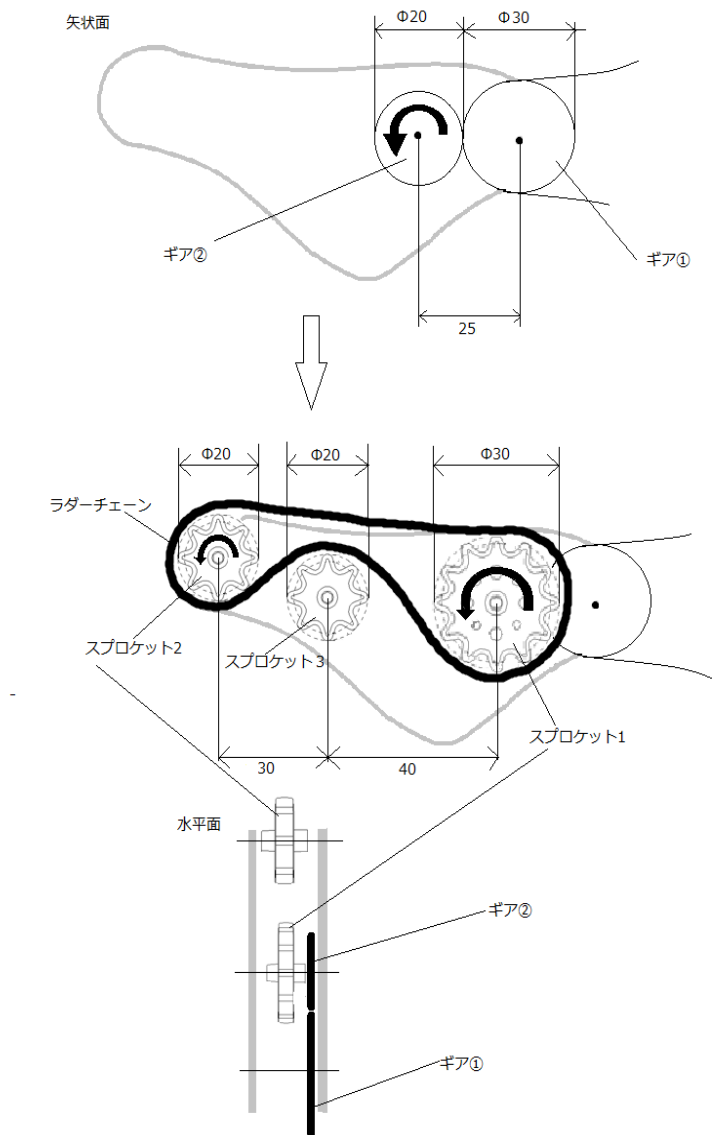
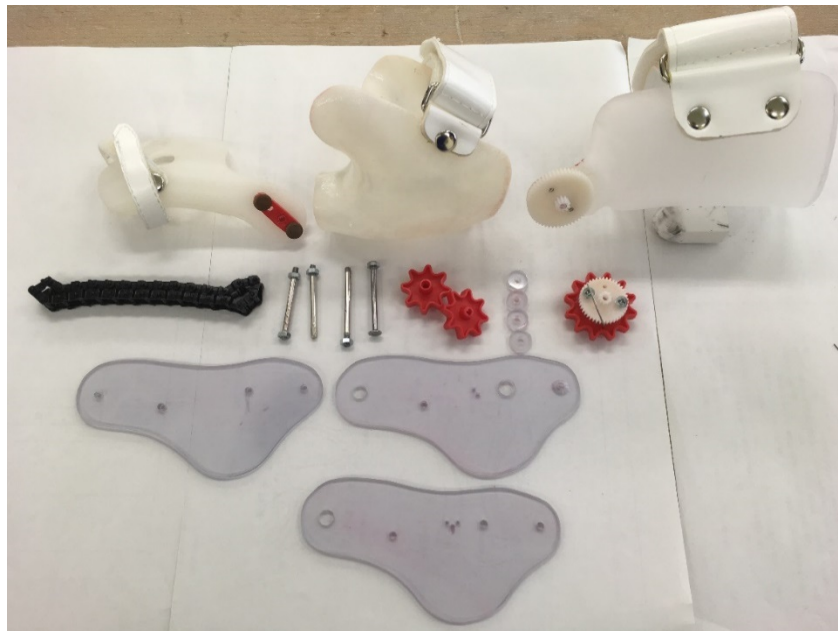


図
(図 2-7) 第 3 案 設計図

(4) オリジナル装具第3案結果 (図 2-8、2-9)

ギアボックスを作ったことで、軸のブレがなくなり、手関節ギアと手部ギアがしっかりと噛み合いスプロケットを回すことができた。



(図 2-8) 第3案各種パーツ



(図 2-9) 第3案矢状面

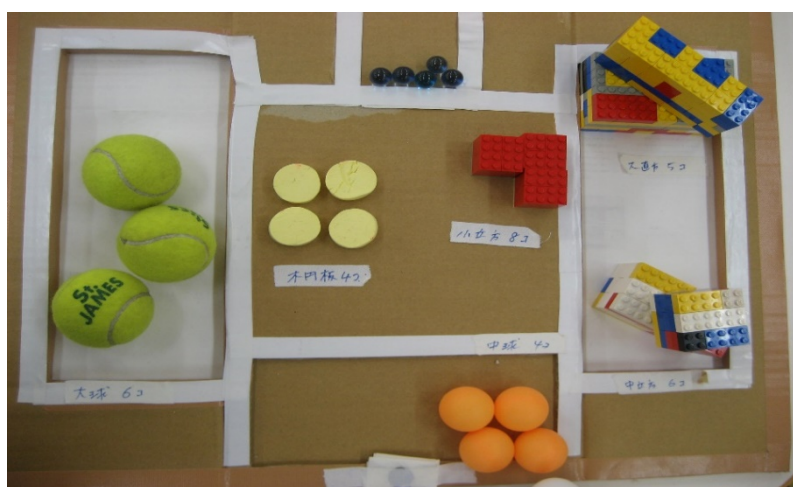
第3節 装具の評価方法

第1項 装具の評価実験

装具の評価は健常者の20歳男性で行い評価方法は簡易上肢機能評価を参考にして、6項目の評価を行った。その際、動画を撮影し動作解析や筋電計測器を用いて既存の装具との代償動作の比較を同時に行った。

第2項 簡易上肢機能検査

簡易上肢機能検査とは上肢の動作能力、特に動きの早さを客観的に、またスプリントの有効性等を客観的に測定することの出来る検査である。今回の評価では簡易上肢機能検査に使うボードや使用する道具を代用品で行った（図2-10）。



（図 2-10）評価に用いた道具

行った項目は大玉→テニスボール（直径 65mm）、中玉→ピンポン玉（直径 4mm）
小玉→ビー玉（直径 2mm）、大立方→幅 70mm、高さ 70mm、中立方→1 辺 40mm
木円板→直径 30mm、高さ 2mm の 7 項目を既存の把持装具、オリジナル装具それぞれで 3
セットずつ行った。

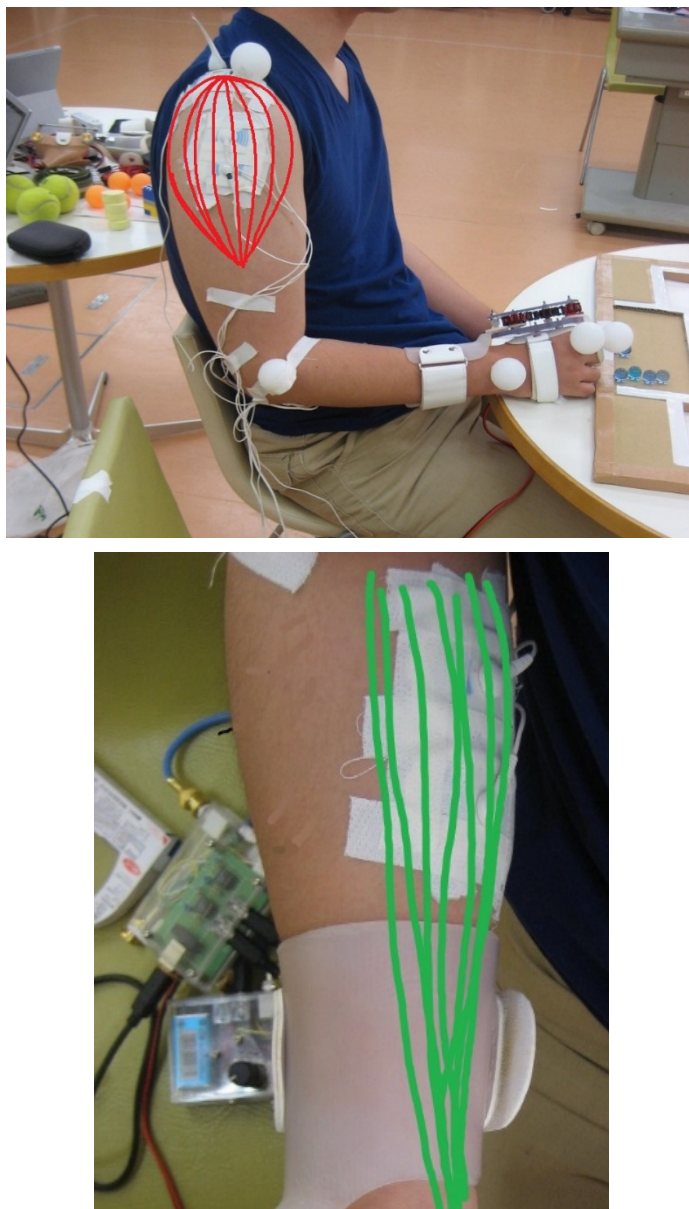
評価は、簡易上肢機能検査の得点表（表 2-1）に従って得点を付け高い方が有効となる。

（表 2-1）得点表

回目	制限時間(秒)	所要時間(秒)	得点プロフィール										総合得点
			10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
検査1(大球)	300		5.9	7.7	9.5	11.3	13.1	14.9	16.7	18.5	20.3	30.0	
検査2(中球)	300		5.3	7.1	8.9	10.7	12.5	14.3	16.1	17.9	19.7	30.0	
検査3(大立方)	400		8.7	11.4	14.4	16.8	19.5	22.2	24.9	27.6	30.3	40.0	
検査4(中立方)	300		8.3	10.7	13.4	15.5	17.9	20.3	22.7	25.0	27.5	30.0	
検査5(木円板)	300		6.3	8.4	10.5	12.6	14.7	16.8	18.9	21.0	29.1	30.0	
検査6(小球)	600		12.4	17.5	22.6	27.7	32.8	37.9	43.0	48.0	53.2	60.0	

第3項 筋肉の活動電位の計測（図2-11）

筋肉の活動電位の計測は、肩外転が起こっているか比較するため三角筋の中部繊維と随意的に手指の屈曲や手関節の掌屈を行っていないかを調べるために深・浅指屈筋の2箇所の筋肉の活動電位を計測した。



（図2-11）上：三角筋 下：深・浅指屈筋

第4項 動作解析

動作解析は Toy box を使用し、既存の把持装具とオリジナル装具の代償動作で、どの部位がどれだけ動いたかを比較するため行った。

計測は、比較する部位にポイントを設定し前面と左右から動画を撮影した。

部位は左右の肩峰、装具装着側の肘関節、手関節、MP 関節、指先の 6 か所にポイントを設定した (図 2-12)。



(図 2-12) Toy box の操作画面 (前面)

検査を前、右、左から撮影した動画をそれぞれ 1 秒 30 コマずつ分割した静止画に変換し、Toy box に取り込む。その後、モーションキャプチャを行い、身体各ポイントをマークして 3 次元的座標を算出する。

第3章 研究結果および考察

第1節 簡易上肢機能検査の点数

簡易上肢機能検査に基づいて実施する項目のみの得点表を作成した。

(1) 既存の把持装具の得点結果

・1回目

既存の把持装具1回目の結果は検査1（大球）では所要時間 23.04 秒で点数は1点、検査2（中球）では所要時間 10.77 秒で点数は7点、検査3（大立方）では所要時間 18.89 秒で6点、検査4（中立方）では所要時間 19.23 秒で5点、検査5（木円盤）では10.5 秒で8点、検査6（小球）では17.68 秒で8点だった（表3-1）。

（表 3-1） 1 回目の結果

	制限 時間 (秒)	所要 時間 (秒)	得点プロフィール										総 合 得 点
			10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
検査1 (大球)	30.0	23.04	5.9	7.7	9.5	11.3	13.1	14.9	16.7	18.5	20.3	30.0	1
検査2 (中球)	30.0	10.77	5.3	7.1	8.9	10.7	12.5	14.3	16.1	17.9	19.7	30.0	7
検査3 (大立方)	40.0	18.89	8.7	11.4	14.4	16.8	19.5	22.2	24.9	27.6	30.3	40.0	6
検査4 (中立方)	30.0	19.23	8.3	10.7	13.4	15.5	17.9	20.3	22.7	25.0	27.5	30.0	5
検査5 (木円板)	30.0	10.23	6.3	8.4	10.5	12.6	14.7	16.8	18.9	21.0	29.1	30.0	8
検査6 (小球)	60.0	17.68	12.4	17.5	22.6	27.7	32.8	37.9	43.0	48.0	53.2	60.0	8

※合計点 36 点

・2回目

既存の把持装具2回目の結果は検査1（大球）では所要時間18.69秒で点数は2点
検査2（中球）では所要実感10.27秒で点数は6点、検査3（大立方）では所要時間17.12
秒で6点、検査4（中立方）では所要時間18.20秒で5点、検査5（木円盤）では9.76
秒で8点、検査6（小球）では14.21秒で9点だった（表3-2）。

（表3-2）2回目の結果

	制限時間(秒)	所要時間(秒)	得点プロフィール										総合得点
			10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
検査1 (大球)	30.0	18.69	5.9	7.7	9.5	11.3	13.1	14.9	16.7	18.5	20.3	30.0	2
検査2 (中球)	30.0	10.27	5.3	7.1	8.9	10.7	12.5	14.3	16.1	17.9	19.7	30.0	6
検査3 (大立方)	40.0	17.12	8.7	11.4	14.4	16.8	19.5	22.2	24.9	27.6	30.3	40.0	6
検査4 (中立方)	30.0	18.20	8.3	10.7	13.4	15.5	17.9	20.3	22.7	25.0	27.5	30.0	5
検査5 (木円板)	30.0	9.76	6.3	8.4	10.5	12.6	14.7	16.8	18.9	21.0	29.1	30.0	8
検査6 (小球)	60.0	14.21	12.4	17.5	22.6	27.7	32.8	37.9	43.0	48.0	53.2	60.0	9

※合計点 36点

・ 3 回目

既存の把持装具 3 回目の結果は検査 1（大球）では所要時間 19.76 秒で点数は 2 点
検査 2（中球）では所要実感 9.01 秒で点数は 7 点、検査 3（大立方）では所要時間 14.97
で 7 点、検査 4（中立方）では所要時間 16.63 秒で 6 点、検査 5（木円盤）では 9.17 秒で
8 点、検査 6（小球）では 14.99 秒で 9 点だった（表 3-3）。

（表 3-3） 3 回目の結果

	制限 時間 (秒)	所要 時間 (秒)	得点プロフィール										総 合 得 点
			10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
検査 1 (大球)	30.0	19.76	5.9	7.7	9.5	11.3	13.1	14.9	16.7	18.5	20.3	30.0	2
検査 2 (中球)	30.0	9.01	5.3	7.1	8.9	10.7	12.5	14.3	16.1	17.9	19.7	30.0	7
検査 3 (大立方)	40.0	14.97	8.7	11.4	14.4	16.8	19.5	22.2	24.9	27.6	30.3	40.0	7
検査 4 (中立方)	30.0	16.63	8.3	10.7	13.4	15.5	17.9	20.3	22.7	25.0	27.5	30.0	6
検査 5 (木円板)	30.0	9.17	6.3	8.4	10.5	12.6	14.7	16.8	18.9	21.0	29.1	30.0	8
検査 6 (小球)	60.0	14.99	12.4	17.5	22.6	27.7	32.8	37.9	43.0	48.0	53.2	60.0	9

※合計点 39 点

(2) オリジナル把持装具の得点結果

・ 1 回目

オリジナル把持装具 1 回目の結果は検査 1（大球）では所要時間 19.54 秒で点数は 2 点、検査 2（中球）では所要時間 9.92 秒で点数は 7 点、検査 3（大立方）では所要時間 17.76 秒で 6 点、検査 4（中立方）では所要時間 19.59 秒で 5 点、検査 5（木円盤）では 9.55 秒で 8 点、検査 6（小球）では 13.44 秒で 9 点だった（表 3-4）。

(表 3-4) 1 回目の結果

	制限 時間 (秒)	所要 時間 (秒)	得点プロフィール										総 合 得 点
			10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
検査 1 (大球)	30.0	19.54	5.9	7.7	9.5	11.3	13.1	14.9	16.7	18.5	20.3	30.0	2
検査 2 (中球)	30.0	9.92	5.3	7.1	8.9	10.7	12.5	14.3	16.1	17.9	19.7	30.0	7
検査 3 (大立方)	40.0	17.76	8.7	11.4	14.4	16.8	19.5	22.2	24.9	27.6	30.3	40.0	6
検査 4 (中立方)	30.0	19.59	8.3	10.7	13.4	15.5	17.9	20.3	22.7	25.0	27.5	30.0	5
検査 5 (木円板)	30.0	9.55	6.3	8.4	10.5	12.6	14.7	16.8	18.9	21.0	29.1	30.0	8
検査 6 (小球)	60.0	13.44	12.4	17.5	22.6	27.7	32.8	37.9	43.0	48.0	53.2	60.0	9

※合計点 37 点

・ 2 回目

オリジナル把持装具 2 回目の結果は検査 1（大球）では所要時間 17.23 秒で点数は 3 点、検査 2（中球）では所要実感 10.70 秒で点数は 7 点、検査 3（大立方）では所要時間 15.87 秒で 7 点、検査 4（中立方）では所要時間 19.99 秒で 5 点、検査 5（木円盤）では 9.75 秒で 8 点、検査 6（小球）では 12.89 秒で 9 点だった（表 3-5）。

（表 3-5） 1 回目の結果

	制限 時間 (秒)	所要 時間 (秒)	得点プロフィール										総 合 得 点
			10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
検査 1 (大球)	30.0	17.23	5.9	7.7	9.5	11.3	13.1	14.9	16.7	18.5	20.3	30.0	3
検査 2 (中球)	30.0	10.70	5.3	7.1	8.9	10.7	12.5	14.3	16.1	17.9	19.7	30.0	7
検査 3 (大立方)	40.0	15.87	8.7	11.4	14.4	16.8	19.5	22.2	24.9	27.6	30.3	40.0	7
検査 4 (中立方)	30.0	19.99	8.3	10.7	13.4	15.5	17.9	20.3	22.7	25.0	27.5	30.0	5
検査 5 (木円板)	30.0	9.75	6.3	8.4	10.5	12.6	14.7	16.8	18.9	21.0	29.1	30.0	8
検査 6 (小球)	60.0	12.89	12.4	17.5	22.6	27.7	32.8	37.9	43.0	48.0	53.2	60.0	9

※合計点 39 点

・ 3 回目

オリジナル把持装具 3 回目の結果は検査 1（大球）では所要時間 16.33 秒で点数は 4 点
検査 2（中球）では所要実感 10.01 秒で点数は 7 点、検査 3（大立方）では所要時間 14.39
で 8 点、検査 4（中立方）では所要時間 18.21 秒で 5 点、検査 5（木円盤）では 10.19 秒
で 8 点、検査 6（小球）では 12.11 秒で 10 点だった（表 3-6）。

（表 3-6） 3 回目の結果

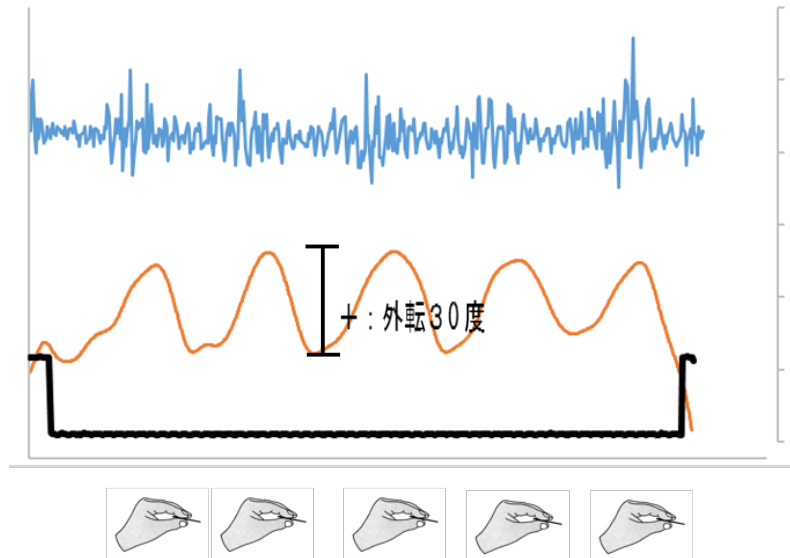
	制限時間(秒)	所要時間(秒)	得点プロフィール										総合得点
			10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
検査 1 (大球)	30.0	16.33	5.9	7.7	9.5	11.3	13.1	14.9	16.7	18.5	20.3	30.0	4
検査 2 (中球)	30.0	10.01	5.3	7.1	8.9	10.7	12.5	14.3	16.1	17.9	19.7	30.0	7
検査 3 (大立方)	40.0	14.39	8.7	11.4	14.4	16.8	19.5	22.2	24.9	27.6	30.3	40.0	8
検査 4 (中立方)	30.0	18.21	8.3	10.7	13.4	15.5	17.9	20.3	22.7	25.0	27.5	30.0	5
検査 5 (木円板)	30.0	10.19	6.3	8.4	10.5	12.6	14.7	16.8	18.9	21.0	29.1	30.0	8
検査 6 (小球)	60.0	12.11	12.4	17.5	22.6	27.7	32.8	37.9	43.0	48.0	53.2	60.0	10

※合計点 42 点

第2節 筋肉の活動電位の計測と動作解析

筋肉の活動電位の計測と動作解析をしたもので、差を見やすくするために差が顕著に見られた検査項目を一つピックアップし、グラフ化した。

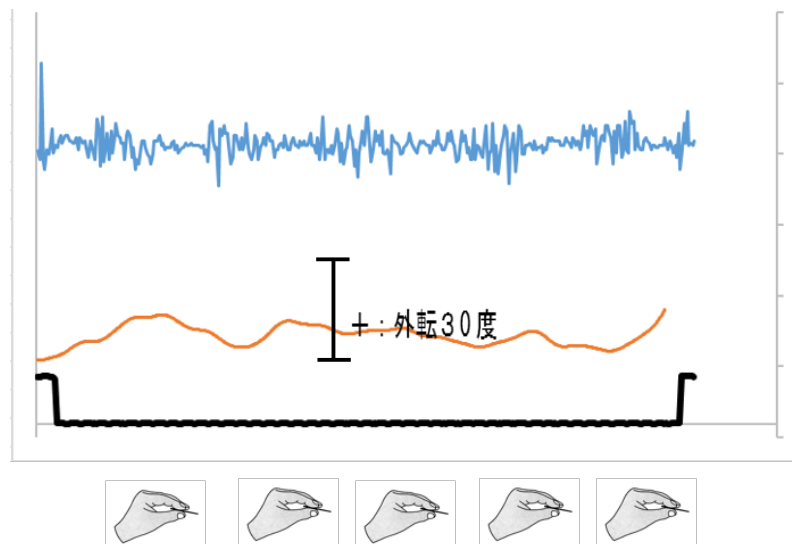
既存の把持装具では、体から遠くの物を把持するときに肩関節の外転がみられた。そのため、肩関節外転筋である三角筋の活動電位がみられた（図 3-1）。



（図 3-1）既存の装具の筋電と動作解析

■三角筋 ■肩外転角度 🖐️つかみポイント

オリジナル装具では、既存の把持装具で見られた肩関節の外転が減少し、三角筋の活動電位も減少していた（図 3-2）。



（図 3-2）オリジナル装具の筋電と動作解析

■三角筋 ■肩外転角度 🖐️つかみポイント

第3節 考察

第1項 簡易上肢機能検査について

・検査1 大球

オリジナル把持装具の方が作業スピードは2秒ほど速かったが、作業時間としては、遅く点数が低い結果となってしまった。

大球では指を完全に開いた状態から指が物をすぐに掴めるため既存の物より早く移動することができたと考えられる。

また、既存の把持装具では物を把持する際に手が対象物から離れ、対象物が球体だったため転がってしまい掴みづらかった。それが既存の把持装具との差が大きく見られた理由と考える。

・検査2 中球

検査2は近いエリアでの動作だったため、既存の把持装具とオリジナル把持装具の作業時間の差は平均0.2秒ほどしか変わらず大きな変化は見られなかった（点数同点）。

・検査3 大立方

大球と同様に指を完全に開いた状態から指が物をすぐに掴めるため既存の物より速く移動することができたと考えられる。

大立方は大球と違い、安定性があり把持する際に対象物がズレなかったため、大球に比べ作業時間は早く点数が高かい（大球の点数平均約1.6点に対し大立方の点数平均5.6点）結果となったと考える。

また既存の把持装具では背屈した状態で物を掴むため、横方向への移動がしづらく、オリジナルの把持装具と差ができ理由だと考える。

・検査4 中立方

作業スピードは既存の把持装具の方が速かった。中立方程の大きさの物では、掴むことが困難ではないため、代償動作の差は見られず。また既存の把持装具に比べてオリジナル把持装具は、把持動作を行う際に指が閉じている状態から手関節を背屈させ指を開くため、1モーション多くなる。そのため、オリジナル把持装具のほうが遅くなったと考えられる。

・検査5 木円板

検査5は近いエリアでの動作だったため、既存の把持装具とオリジナル把持装具の有意差は見られなかった（点数同点）。しかし、検査4同様に1モーション多いオリジナル把持装具の方が少し遅かった。

・検査 6 小球

検査 6 は目標物（小球）が遠くに設定されていたため、把持を行う際に、既存の把持装具では、顕著に代償動作が見られた（15.6 秒）。しかし、オリジナル把持装具では、代償動作が減少したため作業スピードが速かった（12.9 秒）。

第 2 項 筋の活動電位の計測と動作解析について

筋活動電位の計測では、既存の把持装具でもあまり見られないものもあり、検査 6（小球）のよう遠くにある小さな物をつかもうとするときは、筋の活動電位が大きくみられた。これは肩での代償動作を必要としたためだと考えられる。しかしオリジナルの把持装具の検査 6（小球）の結果では、筋活動電位は小さくなっていた。

また動作解析でも同じ検査 6（小球）では既存の把持装具では大きく肩関節の外転がみられたがオリジナルの把持装具では肩の動きが減少していた。

このふたつの結果から、掌屈動作で物を把持する事ができれば、代償動作を軽減する事が可能なのではないかと考えた。

第 3 項 今後について

装具は完成したもののギアの選択や使用時の問題など改良すべきところがあり、今後はそれらの改良が必要だと考えられる。

1. パーツの選択について

装具製作で使用したギアやスプロケットは玩具で使うものを使用しているため、厚みや強度に問題があり、ギア比やスプロケットの大きさ、歯の枚数なども効率の良い物に変えるべきだと考えられる。

2. 形状について

現在の形状では使用時に目標物が目視できなくなることがあり、機構部をコンパクトにし、視界を広げる必要があると考えられる。またコンパクト化は 1 のパーツの選択であるように、ギアやスプロケットを適切なものに変更することでコンパクト化につながると考えられる。また掌屈補助機構のバネの力に耐える強度が必要だと考えられる。

3. 掌屈補助機構について

掌屈補助機構にはキックバネを使用しており、掌屈動作はバネの力に依存するため、どれだけの強さ使用するかを、使用者の背屈筋力に合わせて変更する必要があると考えられる。

4.機構のキット化について

第3項 1.「パーツの選択について」で書いたようにギアやスプロケットは玩具のものを流用しており、強度や効率に問題があるため変更する必要がある、あらかじめ、強度やギア比などの効率が良い物ものをキットとしてまとめておくことで、製作がしやすくなると考えられ、また掌屈補助機構にしようとしたキックバネも、使用者に合わせて複数用意することで、様々な人に適応できると考えられる。

5.臨床評価

今回の研究では、機構の評価のため健常者で評価実験を行った。今回の結果で、機構が機能することは評価できたため、今後は実際にユーザー様に装着して使用していただき臨床評価を行い、装具としての有用性があるかを評価する必要があると考えられる。それにより改善点が明確になり、具体的な課題として改善することでユーザー様の ADL 向上を図れる装具になると考えている。今後も実用化を目指して研究を行っていききたい。

第4節 まとめ

今回の卒業研究では、頸髄損傷患者の ADL 動作に不可欠な把持動作に着目した。頸髄損傷患者は把持することができないため、把持装具を使用しているが既存の把持装具の処方はいくつもなくあり、義肢装具士が製作することは少ないのが現状である。

現在の把持装具は、特に手関節駆動式把持装具は手関節背屈によるテノデーシスアクションによって物を把持する事ができる構造となっていることから、テノデーシスアクションを用いて、背屈動作で対象物を把持しようとするとう手が対象物から離れてしまう。そのため、肩や肘の代償動作を行う必要があり、ADL 上では、ごく一部の動作しか行えないのが現状である。把持する3指が対象物に近づくことで、把持動作ができ把持した状態で他の動作を行うことができれば可能な ADL 動作が格段に増えると考え、本研究では、掌屈位で把持ができ、背屈動作のみでコントロールが可能にするシステムを開発することを目的とした。

掌屈位で把持をするための機構として、ギアやスプロケット、ラダーチェーンを使用し、従来のテノデーシス作用を用いた把持装具とは異なり掌屈位で把持ができる機構を考案した。製作では、従来の把持装具と同じ動きをしてしまったなど問題もあったが、最終的には、目的通りの機構を考案し製作することができた。

機構の評価では、スプリントの有効性が見られることから簡易上肢機能検査を参考にして行った。簡易上肢機能検査の結果では、大幅な作業時間の短縮は見られなかったが、小さい物や、遠くにある物を取る時、既存の装具に比べ作業時間の短縮がみられた。

また動作解析や、筋肉の活動電位の計測では、明確な違いが現れなかった検査項目もあるが、簡易上肢機能検査と同様に小さい物や、遠くにある物を把持しようとした時、肩の外転が小さくなっており、目的の1つである代償動作を減少させることが出来たと考えられる。

被験者が実際に使用した感想として、掌屈をバネの力に依存してしまうので、残存筋である手関節背屈筋で掌屈を制御するのは難しいかもしれないが、簡易上肢機能検査をそれぞれ3セットずつ行った結果、1セット目よりも3セット目の方が良い結果だったため、訓練をすればスムーズな作業が出来ると考えられる。

今回の研究から見えた課題として、パーツの選択やパーツの形状・機構の問題があげられるが、それらを改善することで実用性が向上し、将来的に把持装具の使用率が上がるのではと考えられる。

<参考文献>

- 1) 新編装具治療マニュアル疾患別・症状別適応 加倉井周一ら
- 2) 日本における脊損発生の疫学調査 新宮 彦助
- 3) 日本における脊損発生の疫学調査 第2報
日本パラプレジア医学会脊損予防委員会 新宮 彦助
- 4) 日本における脊損発生の疫学調査 第3報(1990～1992)
新宮 彦助
- 5) 全国脊髄損傷登録統計 2002年1月～12月 日本脊髄障害医学会 脊損予防委員会
委員長 芝崎 啓一
- 6) 上肢装具の現状と問題点 - 手関節、手指装具について -
佐賀医科大学 整形外科 渡辺 英夫
- 7) 簡易上肢機能検査 Simple Test Evaluating Hand Function(STEF)検査者の手引き
神戸大学医療技術短期大学 作業療法科 金子 翼編
- 8) 上肢機能障害へのアプローチ 頸髄損傷
池田 篤志 古澤 一成
- 9) 人間工学的機能的把持装具の開発・研究
大塚 彰 島田 雅史 金井 秀作 長谷川 正哉 島谷 康司 沖 貞明
- 10) 頸髄損傷の tenodesis-like-action による把持動作の検討
花山 耕三 永田 雅章 黒岩 貞枝 外川 広子 千野 直一
- 11) 手のスプリントのすべて[第3版] 3～33頁
矢崎 潔
- 12) 把持装具のバイオメカニカルな考慮と Ratohet type Hand Orthosis について
国立身体障害者リハビリテーションセンター学院 田沢 英二
- 13) 医学書院 標準整形外科学 第12版 842～856頁
- 14) 第3版 装具学 日本義肢装具学会＝監修 加倉井周一＝編 175～184頁
- 15) 第4版 装具学 日本義肢装具学会＝監修 飛松好子＝編 179～184頁
- 16) リハビリテーション総論 (改訂第2版) 椿原彰夫＝編著