

令和 5 年 6 月 25 日現在

機関番号：32639

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12744

研究課題名(和文) 形成不全前腕特有の乳幼児の運動と知覚の発達を軸とした人工手指の実装

研究課題名(英文) Implementation of artificial hand centered on self-motion perception development peculiar to infants with congenital below-elbow deficiency

研究代表者

小北 麻記子 (OKITA, Makiko)

玉川大学・芸術学部・教授

研究者番号：00389694

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：形成不全児の保護者に対するメディアデザインを調査した。保護者が重視する高リアリティの指しゃぶり用シリコン製人工の手指を試作し、保護者アンケート調査の準備を進めた。前腕の形成不全・欠損のある乳幼児への人工の手指の装着が、欠損側のセルフタッチを補う効果があるとの仮説のもと、静電容量・赤外線温度センサシステムを内蔵し、硬さを調整できる検証実験用の低リアリティの人工の手指を試作し、口接触のセルフタッチを、健康成人男性を対象とした基礎実験にて計測、認識率を検証した。手指の検出・追跡処理を行う動画処理システムを用意し、健康成人男性を対象に検出率の堅牢性の高いカメラ設定を実験調査した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

保護者へのファーストケアから地続きに子どもの発達支援への動機付けがなされるメディア設計を提案できる。従来の機能と形状の補完の目的とした義肢と異なる、運動と知覚の発達を支援することを目的とした、色、指形状に重点をおいた高リアリティのシリコン製の1歳児サイズの人工の手指が開発された。早期の人工の手指の装着が欠損側の腕の運動と知覚・認識を誘発するとしての科学的エビデンスを得るための、センサを内蔵した実験用人工の手指、手指の検出・追跡処理を行う動画処理システムを提案し、基礎実験を行った。

研究成果の概要(英文)：Media design for parents of hypoplasia infants were investigated. As the parents desired for their child, an aesthetic silicon made artificial hand for thumb sucking was prototyped, and a parents targeted conscious survey was prepared. To investigate the compensatory effect of donning an artificial hand over the hypoplasia forearm on self-touch, a capacitance & infrared temperature sensory system installed low-reality artificial hand was prototyped. Instrumentation of self-touch to the mouth were pilot tested with ordinary male adult subjects and the recognition rate was durable. Video processing system was developed for hand detection-tracking and the camera setting was experimentally tuned with ordinary male adult subjects to test the robustness improvement of detection precision.

研究分野：医療福祉工学関連

キーワード：形成不全前腕 発達 人工ボディパーツ 人工手指 運動知覚 メディアデザイン

1. 研究開始当初の背景

上肢欠損児の出生はおよそ 10000 人に 1 人/年とされており (Teratology 39:127-135 1989), 日本でも毎年およそ 100 人の義手適応のある上肢欠損児が出生していると推測される。欧米においては 1 歳児以上で義手を使用することによる活動範囲の向上と QOL の改善が報告されるなど, 積極的に義手等支援具を使用できる環境が整備されている反面, これ以下の乳幼児では対応はない。1 歳以上に成長後の上肢欠損児に義手を装着した場合, 義手が装着された腕を無視して健常な片手のみで遊ぶことが報告されている。ボディイメージが完成するまでの働きかけの影響は大きいといえよう。乳幼児の段階から腕の先に適切な人工物をつけた状態で運動・感覚系を発達させることは, 人工の手指を受け入れたボディイメージの育成に繋がり, 生涯にわたるより高い QOL の獲得が期待できる。しかし, 身体の機能と形状を補完することを目的とした義手の手先具はなく, 出生直後から 6 - 8 か月頃までに装着し運動と知覚の発達を促すことを目的とした人工の手指を開発し, この仮説を検証する必要がある。

また, 上述に関わる環境として, 当然ながら当事者は乳幼児であるから自身に対する支援方法であっても自己決定はできず, 父母などの保護者がそれにあたる。しかし, 多くの場合, 保護者自身も障害のある子どもの親となった状況の受け入れに困難を感じており, ケアが必要な状態にある。医療関係者も前腕の形成不全児に関わる経験は極めて低いため, ためらったまま時間が経過し, 保護者も子どもも共に適切な情報が得られず, 保護者が一層孤独を深めることも少なくない。したがって, 上肢欠損児へのアプローチは保護者までを包括したデザイン, つまり保護者へのファーストケアから地続きに子どもの発達支援への動機付けがなされるメディアデザインであることが望ましい。現時点では一定程度成長したのちに当事者同士が連絡を取り合う家族会が主で, 専門家によって関係性や情報までを科学的エビデンスをもとに設計・監修された問題解決志向のメディアは未だない。

片方の上肢が欠損していたとしても, もう一方の手があれば [生活のための動作の 90% はできる] という言説は, 関係者のだれもが知っているが, そもそもこの言説の医学的エビデンスは確認されていない。実際には, 片腕相当の重さ (成人で 3~4 キログラム) による負荷を片肩から欠いて成長するなかで, 殆どの上肢欠損者は上半身に歪みが生じ, 痛みなどを感じながら生活している。その現状を前に [片腕があれば生活できる] と前提することに如何ほどの意義があるのか。その [できる] は, 社会のなかで, 他者の前で, 人としての尊厳を保つに足る, 当事者の心を傷つけない所作であるのか。また, 一瞥して明らかほど非対称にねじれた上体を基に, 痛みを耐えながら行う動作でよいのか。これらの観点に立てば, この領域の研究には製造法もふくめた物理的な特性のみにとどまらず, 新しいアプローチでの進捗の余地がある。

さらに, 自己の身体への手を介した接触, セルフタッチと称す。乳幼児期におけるセルフタッチ体験は, 身体と自己の感覚を形成することが報告されているが, そうとあれば, 先天的に上肢欠損の乳幼児は欠損肢のセルフタッチを欠くことで, 運動・感覚の発達や義肢の受け入れへの影響の可能性があると仮説も立てられる。早期より適切な人工の手指を装着できれば欠損側のセルフタッチを補う効果があり, 健側依存度合を改善できると考えられることから, 保護者が装着に抵抗がない人工の手指を開発し, これを装着した場合のセルフタッチの左右差が健常児と同程度とあれば, 人工の手指装着の優位性のエビデンスになると考えこれを調査する。

2. 研究の目的

本研究では, 生まれながらに手指がない子どものために, 発達を目的とした人工の手指を開発するとともに, 装着効果のエビデンスを実験により検証する。保護者の人工の手指の装着と発達への協力を得られるよう, 保護者の心理的な環境も考慮しながら子どもの発達に有用な情報を提供するメディアの設計を行う。

3. 研究の方法

(1) 保護者用メディアについては, 研究代表者を中心とし, 不利益システム研究, 身体拡張性の研究グループ, ならびに, 当事者・家族の会の協力を得て進めた。本メディア設計を行うにあたり適用する方法論について検討を行い, 候補となるメディア種別の絞り込みを行った。当初想定していた紙媒体に限らない媒体も対象に検討を進めた。

(2) 欠損児用の人工の手指については, 研究分担者である東京電機大学・大西が人工の手指の製作, 神戸大学・野中が行動分析で中心的な役割を担い, 得られた結果, エビデンスを保護者に伝えるためのメディアデザインを研究代表者がおこなう計画であった。また, 個人に応じたサイズ調整式の人工肢の詳細設計と製作を被検者実験後に実施の予定であったが, 感染症拡大抑制のため, 被検者実験ならびに企業との打ち合わせも中止されたことから, 計画を変更した。

保護者が人工の手指を子に装着する上で重視する審美性主体で高リアリティの人工肢のデザインを, 義肢製作企業の協力のもと, 色, 指形状に重点をおいたシリコン製セルフタッチ用の人工の手指の試作を進めた。メディア設計を行うにあたり, この人工の手指を子どもに装着し, 安全にかつ効果があるように活用するために必要な形成不全に関する情報, 人工の手指の情報, 子

どもの上肢の発達についての情報などを提供する紙媒体と紙以外の媒体でのパッケージのデザインを認知的ウォークスルーにて指摘した。

(3) 前腕の形成不全・欠損のある乳幼児への人工の手指の装着が、欠損側のセルフタッチを補う効果があるとの仮説を検証するための実験用人工の手指とセンサにより人工の手指を装着した乳幼児の動作計測システムを研究分担者である東京電機大学・大西が試作と先行実験を進めた。

4. 研究成果

(1) 保護者用メディアについては、研究代表者を中心とし、不利益システム研究、身体拡張性の研究グループ、ならびに、当事者・家族の会の協力を得て進めた。

本メディア設計を行うにあたり適用する方法論について検討を行い、候補となるメディア種別の絞り込みを行った。当初想定していた紙媒体に限らない媒体も対象に検討を進めた。

(2) シリコン製セルフタッチ用の人工の手指は、研究分担者である東京電機大学・大西が進めた。前プロジェクトにて製作した発泡シリコン製の人工の手指に、先行実験用にセンサを内蔵する低リアリティモデルを大西が研究室所属の太田隆大氏と開発を進めた。また、高リアリティ人工の手指の製作を株式会社愛和義肢製作所代表の林伸太郎氏の協力のもと進めた。高リアリティ人工の手指は、色、指形状に重点をおいたシリコン製の1歳児サイズの人工の手指を試作した(図1)。色、指形状に重点をおいたシリコン製人工の手指である。厚み約2mmのグローブ状とし、内部の硬さの調整には硬さの異なる発泡ウレタンを層状に作成し、断端より末梢部に内装する。

人工の手指を子どもに装着し、安全にかつ効果があるように活用するために保護者の協力が必要である。しかしながら、医療関係者においても義肢に関する知識はほとんどなく、専門医でも教科書や教室でしか義肢を見たこともない者が大半であり、少数ながらある義肢や形成不全に関するWEBの情報も、専門家(義肢装具士やリハ医)、もしくは四肢形成不全児の関係者が既存の義肢と医学的知識を身に着けたうえで構成したサイトや情報であり、知識のない保護者の目線で情報収集を行うためのメディア設計ではない。そこで、医学・福祉サービスについての専門知識のない保護者を対象とし、子どもに乳児用の高リアリティモデルを子どもに装着するというサービスを利用するユーザとして、認知的ウォークスルーにて提供する情報のメディア設計と評価を行った。提供する情報は、形成不全に関する情報、当人工の手指の情報、子どもの上肢の発達についての情報、1歳以降に着用の可能となる義手の情報とした。これらを、高リアリティモデルを日々子どもに取り付け、様子を見守る際の、導入と、装着後に起こる不安についてのQ&Aとなるように配列し、また、提供する情報に対し媒体を選定した。



図1 乳幼児用セルフタッチ促進のための人工の手指(左:低リアリティモデル,右:高リアリティモデル)

(3) 先天性上肢欠損児への人工の手指の装着が、欠損側のセルフタッチを補う効果があるとの仮説のもと、セルフタッチ動作の一種である吸指(手を更新まで運び、指と口唇の触知覚)や頭部への接触の回数が人工の手指装着により増加するかを実験により検証した。このため、口唇部へのセルフタッチならびに上肢の動きを自動的に計測、計数するシステムを設計、試作し、実験にて検証した。

まず、一つ目に、低リアリティモデルを用いるものとし、静電容量タッチセンサ、感圧センサ、赤外線温度センサを人工の手指に内蔵し、3種のセンサ信号は外部に設けられたマイクロコンピュータで有線で送信、処理し、口唇の接触数を数えるシステムを構築した。各センサの出力信号の閾値判定処理を行うこととし、セルフタッチをセンサ信号の条件判定で検出するものとする。

各センサの閾値を設定するにあたり、人工の手指と口の接触、人工の手指と口の接近、人工の手指の接近なし、人工の手指とタオルの接触、の4条件に対し、センサ信号の認識率が、条件で100%、条件で0%になるように調整した。測定は、人工の手指を体幹前方、口唇より300mmの位置を開始点として待機とした。実験開始により3sで目標点まで移動し、目

標位置で 3s 状態を維持した後,開始点まで 3s かけて戻り,終了とした。これを 10 試行測定し,目標位置で 3s 状態を維持したうち,条件を正しく認識した時間を 3s で除し,試行の相加平均を求め認識率とした。閾値設定は実験の条件のみ認識率が 100%となるよう,各センサの閾値を設定した。

3種のセンサ信号の組合せ(3種全て,2種の組合せ,各センサ単独の計7設定)でセルフタッチの判定の再現率が最も高い設定を調査した。実験は,前述の条件の動作をモデルを持って行うものとし,設定間の比較のため,各条件でのセンサ信号による目標位置での閾値判定真の時間を,各条件での目標位置での待機時間 3s で除し,試行数分の相加平均として算出した。この実験の結果,セルフタッチ再現率は,条件では全設定で 100%であったが,条件では,赤外線温度センサ単独では唯一 100%ではなく,条件では静電容量タッチセンサならびに静電容量タッチセンサと赤外線温度センサの組み合わせでそれぞれ約 93%,赤外線温度センサ単独では最も低い結果となった。このことから,今後は,赤外線温度センサの判定方法を変更するとともに,静電容量タッチセンサと赤外線温度センサでのセルフタッチの回数計測の実験を成人被験者にて進めた後,乳幼児での計測を行う。

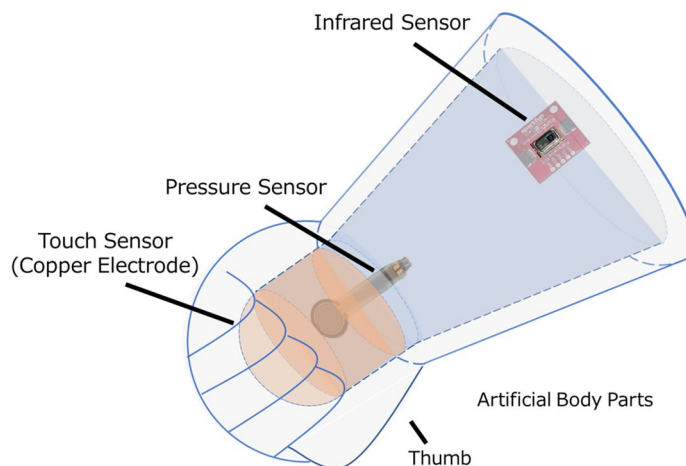


図2 低リアリティモデル内蔵の静電容量タッチセンサ,感圧センサ,赤外線温度センサの配置

表1 セルフタッチ再現率[%](条件 人工の手指と口の接触, 人工の手指と口の接近, 人工の手指の接近なし, 人工の手指とタオルの接触)

Sensor Setup	Conditions			
	人工の手指と口の接触	人工の手指と口の接近	人工の手指の接近なし	人工の手指とタオルの接触
Pressure	88.2	100.0	100.0	100.0
Touch	92.7	100.0	100.0	100.0
Infrared	13.6	3.7	97.2	100.0
Pressure + Touch	88.2	100.0	100.0	100.0
Pressure + Infrared	88.2	100.0	100.0	100.0
Touch + Infrared	93.0	100.0	100.0	100.0
Pressure + Touch + Infrared	88.2	100.0	100.0	100.0

続いて,高リアリティの人工の手指を装着した乳幼児の手指動作記録を行うことを目的とし,1台のビデオカメラの撮影記録動画中の人工の手指と健常の手指の検出・追跡処理を行う動画処理システムの構築を進めた。メディアデータ向け機械学習用フレームワークに MediaPipe を使い,先行実験として健常成人男性を対象に検出率の堅牢性の高いビデオカメラ設定(対象の体幹前面(前額面)からの水平距離,高さ[水平角],方向角)を因子として水準を3設定し,直交表実験にて調査した。今後は,求めたカメラ設定にて乳幼児を対象として撮影,手の検出と動作のログを自動生成させ,人工の手指と健側の手指の動作の違いを分析し,装着の効果を検証する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 太田昌孝, 大西謙吾, 樋口凱
2. 発表標題 両手作業動作分析の動画撮影術の基礎実験
3. 学会等名 第31回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田昌孝, 大西謙吾, 趙崇貴
2. 発表標題 机上動作動画の自動分類における手指検出プロセスのロバスト化
3. 学会等名 日本機械学会 情報・知能・精密機器部門講演会 IIP2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田雄大, 大西謙吾, 趙崇貴, 小北麻記子
2. 発表標題 人工ボディパーツを用いたセルフタッチ計測に適したセンサ組み合わせ
3. 学会等名 第32回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2023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
研究分担者	大西 謙吾 (ONISHI Kengo) (70336254)	東京電機大学・理工学部・教授 (32657)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------