

令和元年6月13日現在

機関番号：10102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01533

研究課題名(和文)先天性上肢欠損児のための身体知覚発達支援人工ボディパーツのデザイン

研究課題名(英文) Design of Artificial Bodypart for assisting the development of congenital upper limb hypoplasia infant's body perception

研究代表者

小北 麻記子 (OKITA, MAKIKO)

北海道教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：00389694

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：先天性片側前腕形成不全児の欠損肢のボディイメージ形成の改善を目的として、生後早い時期から装着できる指しゃぶりの促進を目的としたグローブ型HTV発泡シリコンエラストマー製人工ボディパーツの開発を進めた。試作したボディパーツの評価として、成人被験者が自らの口囲皮膚に触覚刺激を与えた際の、快不快と関連のある前頭前野の活動を光トポグラフィ装置により酸素化ヘモグロビンの変動と、サーモグラフィにより顔面温度分布として計測、比較した。結果としては、酸素化ヘモグロビンは随意運動触覚刺激中・後の両条件で増加。また、ボディパーツで口囲皮膚に触覚刺激を与える前後の温度は鼻部温度のみ有意に減少することが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義としては、本研究成果として製作したHTVシリコンエラストマー製人工ボディパーツについて、それによる随意運動触覚刺激が成人健常者において脳活動の変化と生理反応に変化を生じさせることを確認し、今後は、幼児において同傾向を生じさせるかを調査するとともに、継続使用による効果を調査する点が挙げられる。また、社会的意義としては、製作したHTVシリコンエラストマー製人工ボディパーツはユーザが幼児であることから、本研究による実験から得られたエビデンスは対専門家だけではなく対保護者にも理解しやすいかたちで示すことができるよう予め設計して実験を行っている点が挙げられる。

研究成果の概要(英文)：With the objective to assist the development of congenital upper limb hypoplasia infant's body perception, Artificial Bodypart was designed to enhance donning and thumb-sucking of the Bodypart from early postnatal period. Glove type HTV silicon elastomer foam Bodyparts were prototyped. Adolescent subjects voluntarily stimulated their perioral skin with the Bodyparts and hedonic scale were instrumented of the prefrontal cortex activity. Differentiations of Oxygenated hemoglobin, OxyHb, were measured with optical topography and distributions of facial temperature were measured with dermal thermography. The result of OxyHb increase by an average of 9.95 m(mol/l)mm during and after stimulation, and the results of 2 channel groups' prefrontal cortex activity measurement were significantly different between without and with stimulation to the perioral skin. Furthermore, the difference of alinasal temperature reduction was significant when glabellar and perioral skin temperature were not.

研究分野：メディアデザイン

キーワード：福祉用具・支援機器 先天性上肢欠損 人工ボディパーツ セルフタッチ メディア

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

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、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が、対してわが国においては、出生直後から 6 - 8 か月頃までに装着可能な義手は存在していないことに加え、医療関係者にもその知識や経験がないことから、この問題に対するアプローチは未だない状況である。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全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 - 感覚系が発達させることは、人工ボディパーツ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。また、上述に係る環境に目を転じると、情報環境には切断者の会や、四肢欠損児の家族会はあるものの、とくに妊娠出産の流れにある医療機関での義肢に関する情報提供は不十分であるため、義肢の有用性を知らない、または義肢に過剰な期待をする保護者も少なくない。これらのことから、義手の開発は情報発信のデザインと連動した形で取り組むことが重要であり、個人の使用経験だけでなく、使用者や医療関係者のために必要なエビデンスの積み上げを科学的な手段でもって進捗させ、有用性を検証することが求められている。

2. 研究の目的

乳幼児期は粗大運動発達において、定頻、寝返り、お座り、立位、歩行を極めて短期間で遂げる重要な時期である。先天性上肢欠損児に対しても欠損の影響を視野に入れた各発達段階に応じた働きかけを用意することが望ましい。とくに発達における中枢および末梢神経系システムの成長という観点から、触覚と四肢の運動、ならびに触覚と視覚との協調が進む新生児に装着できる人工ボディパーツの開発が最も有効性が高く重要であろう。したがって本研究では、乳幼児用人工ボディパーツの開発を目指す。研究実施にあたっては、身体面でのエビデンスの獲得のみだけでなく、使い続ける動機や建設的な関係性の構築など心理面での合理性も獲得するよう、同時に進捗させたい。このことによって、臨床と当事者の現実に応え得る有用性の高い成果を引き出せると考える。

3. 研究の方法

この研究計画は大きくは 2 本の方向性を有する。ひとつは機械工学の立場から、先天性上肢欠損児のために幼児のボディイメージ生成の因子について段階的な実験に基づく分析を経て、人工ボディパーツの設計を行うことによって肉体的な苦痛の軽減を行うものであり、もうひとつは、デザイン科学の立場から、先天性欠損に関する情報環境の把握と分析を経て、適切な情報メディアの設計を行うことによって精神的な苦痛の軽減を行うものである。これらの実施にあたっては、最終的にこの研究成果によって現状が改善されることが望まれる先天性上肢欠損児と家族に有用であるよう、現場（医療や製造、装着）に関わる専門家による協力体制を整えている。当事者の努力や工夫に依存しすぎない、問題の科学的解決と合理的情報共有を目指している。

4. 研究成果

(1) 発泡シリコン製ボディパーツと金型設計

HTV シリコンの硬化温度は 120 /30min であることから、HTV シリコンの定常温度が金型内ではばらつきが小さく 120 近傍になることを目的とし、キャビティ、マトリクス、コアの 3 部からなる超ジュラルミン 2024 製の金型を設計した。1 歳半の幼児の手を参考に、ワックスモデルを作成し、三次元形状測定器にて CAD データを得た。このデータから母指ありとなしのグローブ型人工ボディパーツのモデルを作成し、3D CAD/CAM/CAE ソフトで温度分布解析シミュレーションを行いながら金型設計を進めた。金型を加工し、スリーブ厚の異なる HTV 発泡シリコンエラストマー製人工ボディパーツを 7 種試作した。

(2) 脳血流変化計測・評価実験

発泡シリコン製ボディパーツによる触覚刺激を口囲皮膚に与えた際の脳活動につを調査する。脳神経の活動は脳血流変化量と関係があるので、脳血流変化量を計測することで口囲皮膚への触覚刺激と脳活動の関係を明らかにする。これにあたり、近藤らが統合失調症患者と健常者を対象に、快・不快イメージ課題において光トポグラフィ（以下、NIRS）による計測前頭部領域の酸素化ヘモグロビン変化量（以下、 $OxyHb$ ）が両者で有意に増大するという研究結果を参考に、本研究では、発泡シリコン製ボディパーツで口囲皮膚に触覚刺激を与えた際に $OxyHb$ の計測値が有意に増大するという仮説として検証する。

(2)-1. 条件

本実験では、発泡シリコン製ボディパーツを接触させず口の前で 20 周動かす「随意運動」、発泡シリコン製ボディパーツで口囲皮膚を 20 周擦る「随意運動触覚刺激」の $OxyHb$ の変動を NIRS で計測し、被験者が自らの口囲皮膚にシリコン製ボディパーツで触覚刺激を与えることでヒトの脳活動に与える影響を調査する。被験者への視聴覚への影響を防ぐために、半無響音

室でアイマスクを装着させた。空調温度設定は 27 とし、測定時姿勢は今後乳児で計測することを踏まえて仰臥位とした。低反発性の枕を使い、頭の位置が上下左右に動かないようにした。本研究は、東京電機大学ヒト生命倫理委員会の承認を受け、被験者の同意を口頭と書面にて得た後、実験前の体調についてのスクリーニングのアンケートで問題がない対象に実施した。

(2)-2. 実験・解析

被験者にアイマスクと NIRS のヘッドセットをなるべく被験者の髪が当たらないよう装着し、ヘッドセットの電極の接続状態を解析ソフト(Wearable Optical Topography)にて Probe check し、計測可能な ch 数の確認を行う。Web カメラを被験者の顔面が映る高さ 500 mm として取り付ける。被験者の体温を室内環境に馴染ませるために 10 分間枕の上に頭を置き、仰臥位で安静にして待機。脳活動を安定させるために、5 分間波の音を流した後、被験者の脳血流の計測を開始。30 秒後に再生を止める。1 分間安静後、実験者がボディパーツを被験者に手渡し、自身の口部には接触させない高さを持ち、鼻下部から被験者から見て時計回りに、1 周 5 秒のペースで、20 周動かす。1 分間安静時を活動前安静状態とし、20 周の動作中を随意運動時とする。被験者からボディパーツを回収し、1 分 30 秒間安静後、被験者の脳血流の計測を終了。1 分 30 秒間安静時を活動後安静状態とする。被験者は 15 分間安静にした後、再度計測可能な ch 数の確認を行う。5 分間波の音を流した後、被験者の脳血流の計測を開始。30 秒後に再生を止める。1 分間安静後、実験者がシリコン製ボディパーツを被験者に手渡し、温めたシリコン製ボディパーツの掌面で、被験者が自身の口部を鼻の下から被験者から見て時計回りに、1 周 5 秒のペースで、20 周擦る。1 分間安静時を活動前安静状態とし、20 周の動作中を随意運動触覚刺激時とする。なお、ボディパーツは、お湯で温め掌面が 36~37 になるまで耳式赤外線温度計で測定しながら調整した。被験者からシリコン製ボディパーツを回収し、1 分 30 秒間安静後、被験者の脳血流の計測を終了。1 分 30 秒間安静時を活動後安静状態とする。

NIRS 計測値は計測開始時を基準とした相対値を出力している。このため、本研究では各被験者の OxyHb の計測結果を比較するために、各被験者の ch それぞれの OxyHb 値に対して、活動前安静状態 30 データの平均値および標準偏差を算出し、活動状態および活動後安静状態の OxyHb の標準得点化を行った。これを 11 点単純移動平均を行った。活動状態最初の単純移動平均後 OxyHb の値を 0 としてベースライン補正を行った。

被験者として健常者 6 名(男女各 3 名、平均 22.2 ± 1.0 歳)が参加し実験を実施した。

(2)-3. 結果・考察

脳血流変化量は解析ソフト Wearable Optical Topography を用いて導出した。全 22ch は装置の受光位置に近い 3 つの群ごとに、左から右に A~H の 8 群に分け、安定して計測可能であった前頭部中央の C-F 群の随意運動時、および随意運動触覚刺激時の OxyHb を処理し比較した。随意運動時に比べ、随意運動触覚刺激時の OxyHb は増加した。なお、活動状態では C、D、E、F の各群でそれぞれ 24.7、13.4、24.1、4.0 倍増加し、活動後安静状態ではそれぞれ 3.6、2.37、17.2、0.7 倍と大半の位置で増加した。全部位の平均では、活動状態で $9.28 \text{ m(mol/l)} \cdot \text{mm}$ 、活動後安静状態で $10.63 \text{ m(mol/l)} \cdot \text{mm}$ 増加した。同一被験者による随意運動時と随意運動触覚刺激時の 2 群において、随意運動触覚刺激時の OxyHb が増加するとの仮説で、対応のある t 検定 ($p < 0.05$) を実施した。その結果、活動状態の C、D、E、状態後安静時の C、F にて随意運動と随意運動触覚刺激間に有意差が認められた。これにより、シリコン製ボディパーツでの口囲皮膚の随意運動触覚刺激は、前頭前野下部の賦活に寄与することが確認された。

(3) 顔面温度変化計測・評価実験

厚みによりやわらかさの異なる 2 種類のボディパーツで口囲皮膚へ触覚刺激を与えた際の皮膚表面温度変化をサーモグラフィにて計測、調査する。皮膚表面温度変化は随意運動触覚刺激による触覚刺激が、快不快と脳で処理された生理反応を計測することを目的として鼻翼部の皮膚表面温度変化を測定する。また、比較のため、温度変化が起きない眉間、触覚刺激による血流増加やボディパーツからの熱移動による温度変化が生じる可能性のある口囲のそれぞれの皮膚表面温度変化を測定する。

(3)-1. 条件

サーモグラフィは、被験者が仰臥位においてレンズから眉間までの距離 L を 550 mm とした。顔面皮膚温度変化への影響を防ぐため、空調温度設定は 20 度とした。実験結果への影響を防ぐため直射日光が当たらない位置にて脳血流変化量計測実験と同様の条件で実施した。被験者は体温を室内環境に馴染ませるために 10 分間仰臥位で安静にして待機。波の音を流し、サーモグラフィで、被験者頭部の横に置いた樹脂板を撮像し、この表面温度を室内温度とした。合わせて温湿度計の湿度を記録した。測定は、サーモグラフィで被験者の顔面を、活動前安静状態として 1 回撮影、被験者が自身の左口角に自身の左母指腹部を 60 秒間当てるとし、左母指腹部を接触させた状態で、顔面温度を 10 秒間隔で 6 回撮影した。60 秒後、左母指を口から離し、サーモグラフィで被験者の顔面を活動後安静状態として 1 回撮影した。被験者の顔面温度が初期状態になるまでサーモグラフィで確認しながら、5 分間安静にした後、ボディパーツ A をお湯で温め掌面が 36~37 度になった後、サーモグラフィで被験者の顔面を開始前の活動前安静状態として 1 回撮影した。温めたボディパーツ A の掌面を、被験者が自身の左口角に 60 秒間当て、あてたまま 10 秒間隔で 6 回撮影した。60 秒後、ボディパーツ A を顔から離し 1 回撮影した。また、顔から離れたボディパーツ A 掌面を 1 回撮影した。ボディパーツ A があたっていた

口囲部のその後の温度変化を 5 秒間隔で 12 回撮影し、さらに以後 15 秒間隔で 12 回撮影した。被験者の顔表面温度が初期状態になるまで 15 分間安静にし、サーモグラフィで顔面温度分布が同等 (0.5 度以内) となったことを確認し、ボディパーツ B で、先のボディパーツ A と同じ計測を行った。最後に部屋の温湿度を記録し変動がないことを確認した。

解析ソフト (NEC アビオニクス, InfReC Analyzer NS9500 Standard) を用いて、口囲、鼻、眉間の表面温度を熱画像 (320 × 240 pixel, データ深度 14bits) から導出した。口囲は実験時の可視画像の被験者の鼻翼幅と口唇から幾何学的に算出した口囲計測点 10 点を求め、熱画像の色より温度を読み取った。鼻は、鼻尖の中心に指定点 1 点を取り、その点から解析ソフト上の Y 座標が +2, -2 の位置に指定点 2 点を取り、合計 3 点の鼻表面温度を読み取った。眉間は両眉頭の中心に指定点 1 点を取り、その点から解析ソフト上の X 座標が +2, -2 の位置に指定点 2 点を取り、合計 3 点の眉間表面温度を読み取った。

被験者は健康者 3 名 (男性・平均 21.3 ± SD0.5 歳) とした。

(3)-2. 結果・考察

口角に指を当てる前後を比較すると、口囲皮膚温度は 0.16 減少し、眉間皮膚温度は 0.037 減少し、鼻皮膚温度は 0.32 減少した。ボディパーツ A をあてた場合は、口囲皮膚温度は 0.045 減少し、眉間皮膚温度は 0.57 減少し、鼻皮膚温度は 0.051 増加した。ボディパーツ B をあてた場合は、口囲皮膚温度は 0.31 増加し、眉間皮膚温度は 0.10 増加し、鼻皮膚温度は 0.0078 減少した。口囲皮膚をボディパーツ A, B で擦った場合、それぞれで口囲皮膚温度は 0.097, 0.10 増加し、眉間皮膚温度は 0.12, 0.19 減少し、鼻部皮膚温度は 0.81, 0.42 減少した。

各条件の前後の各皮膚温度の変動の有意性を調べるため、ボディパーツによる口囲皮膚の触覚刺激の前後で顔面皮膚温度に変動があるとの仮説に対し、同一被験者による各条件の前後で対応のある t 検定 ($p < 0.05$) を実施した。

母指を口角にあてた条件では口囲皮膚温度が 0.16、鼻皮膚温度が 0.32 と有意に減少した。ボディパーツ A をあてた場合、眉間皮膚温度が 0.57、擦った条件では鼻皮膚温度が 0.81 有意に減少した。ボディパーツ B をあてた条件では口囲皮膚温度が 0.31 有意に増加し、擦った条件では鼻皮膚温度が 0.42 有意に減少した。

母指を口角にあてた条件での鼻部皮膚温度は有意に減少し、ボディパーツで口囲皮膚を擦った際も、鼻皮膚温度は有意にかつより大きく減少した。指を口角に当てた場合は 30 秒経過後から徐々に鼻皮膚温度は減少し、ボディパーツで擦った場合は 40 秒経過から大きく減少する傾向にあり、差はあるものの同傾向があるものとすれば、ボディパーツによる擦触覚刺激は、生身の母指の静的な触覚刺激と同じ生理反応を起こし得る可能性がある。なお、母指を口角にあてた場合、口囲皮膚温度は有意に減少したのに対し、ボディパーツで擦触覚刺激を加えた場合、口囲皮膚温度は増加する傾向があったが、ボディパーツの掌面温度が 36 度と手指の温度 (20 度) より暖かく、熱伝導の影響によると推測する。

さらに、ボディパーツ A と B を比較すると、擦った際の鼻皮膚温度の減少がボディパーツ A の方が 0.39 低い。ボディパーツ B に比べ A はスリーブ肉厚が厚く、かたい。このことからよりかたく感じるボディパーツによる触覚刺激の方が快不快の心理変化が期待され、鼻皮膚温度の変化が表れやすい可能性がある。

4. 結論

実験結果と考察より、発泡シリコン製ボディパーツで触覚刺激を与えることで前頭前野下部の活性化により鼻部の顔面温度変化の生理反応が生じていることが期待される。鼻翼皮膚温度は心理的变化が表れやすいとされ、本研究での成人被験者に限らず先天性片側形成不全児でも同じ程度の温度変化が期待されるとして、サーモグラフィで顔面温度変化を非接触計測することで発泡シリコン製ボディパーツを装着し顔や身体に接触させた場合の心理変化の測定を今後試みる。さらに、目標達成の検証のため、義手導入までの期間において、発泡シリコン製ボディパーツの使用頻度と両手作業の発生頻度や健側と欠損側の使用頻度比の関係を動画撮影と解析により調べたい。そして、発泡シリコン製ボディパーツの装着頻度と義手導入時の定着の関係を調べ、従来の義手導入時の訓練期間に対し、発泡シリコン製ボディパーツ着用が訓練期間の短縮と義手装着時間の延長につながるかを調べ、最終目標が達成されているかを検証したい。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 6 件)

大西 謙吾, 菅沼 彩希, 飯田 拓大, 小北 麻記子

口唇部への触覚刺激による生理反応の計測

知能メカトロニクスワークショップ 2018, 講演論文集 2B2-3, p.(1)-(5)

2018/9/2-4, 沖縄工業高等専門学校, 沖縄県名護市

飯田 拓大, 大西 謙吾, 小北 麻記子
先天性前腕形成不全乳児用人工ボディパーツの振動伝達特性
第 27 回ライフサポート学会 フロンティア講演会 予稿集 G13-2 (149)
2018/3/9-10 杏林大学 井の頭キャンパス, 東京都三鷹市

飯田 拓大, 大西 謙吾, 小北 麻記子
先天性前腕形成不全乳児用人工ボディパーツの振動伝達特性
日本生体医工学会関東支部若手研究者発表会 2017 抄録集 C-3-02
2017/11/18 千葉大学 千葉キャンパス, 千葉市稲毛区

Makiko Okita, Kengo Ohnishi
Artificial Limb for Infants with Short Forearm to Assist the Development of Extended Arm
Image by Self-Touch
The 8th Pacific Rim Conference on Education
2017/11/4-5, Kaderu2.7 Hokkaido Citizens Activities Center Building

Kengo Ohnishi, Makiko Okita, Takuhiro Iida
Development of Soft Artificial Limb For Infants with Transverse Upper Limb Reduction
Deficiency to Induce Extended Physiological Proprioception by Self-Touch
ISPO 16th World Congress 2017 Abstract Book, Paper Number 492, p.565
2017/5/8-11, Cape Town International Convention Centre, Cape Town, South Africa

飯田 拓大, 大西 謙吾, 小北 麻記子
HTV シリコンエラストマー製ボディパーツの金型内温度分布解析
2017 年度精密工学会春季大会学術講演会 講演論文集 pp. 223-224, C74
2017/3/13-15, 慶應義塾大学 矢上キャンパス, 神奈川県横浜市

〔図書〕(計 1 件)

小北 麻記子 他, 近代科学社, 不利益-手間をかけるシステムのデザイン, 第 3 章 義手の
デザイン-人に関わるモノのあり方を考えるために, 2017, pp.39-57

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 大西 謙吾
ローマ字氏名: OHNISHI, Kengo
所属研究機関名: 東京電機大学
部局名: 理工学部
職名: 教授
研究者番号 (8 桁): 70336254

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 後藤 彰一郎

ローマ字氏名： GOTO, Shoichiro

研究協力者氏名：杉山 英之

ローマ字氏名：SUGIYAMA, Hideyuki

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。