

モーションキャプチャーとタスクオントロジーを融合した 医療身体動作モデルの構築

Construction of Medical Human Motion Model using Motion Capture and Task Ontology

2181032



研究代表者 北海道科学大学 保健医療学部 講師 谷川原 綾子
共同研究者 北海道大学大学院 保健科学研究院 教授 小笠原 克彦

[研究の目的]

医学の発展に伴い、医療者に求められる医療技術も高度化している。高度な医療技術を習得するためには、豊富な知識や経験を必要とするため、初学者が一人前になるまでに多くの時間を要する。また、技術は経験に依存する側面があるため、言語で伝えることが困難であり他人との情報共有を通じた技術向上が図りにくいことがある。そこで、医療技術の情報処理を行い、医療者が迅速で精度の高い手技を効率的に取得したり情報共有が可能なシステムを構築することで上記問題点が解決されると考えている。この実現に向けて、医療身体動作とその周辺知識を取り入れた医療技術動作知識基盤（医療身体動作モデル）の構築と、この基盤を用いた身体動作に関する情報処理が可能なシステム開発を行う必要がある。

我々は、これまでマンモグラフィ撮影技術を対象とした知識基盤（オントロジー）の構築を進めてきた。マンモグラフィ検査は、乳がんの早期発見に貢献している X 線検査であるが、病変の検出には、高度な撮影技術が要求される。先行研究にて、160 を超える撮影技術（タスク）とその周辺知識の関係性を表現したマンモグラフィ撮影技術タスクオントロジー¹⁾を構築した（図 1）。しかし、タスクをブレインストーミングにて収集したため、経験に依存する

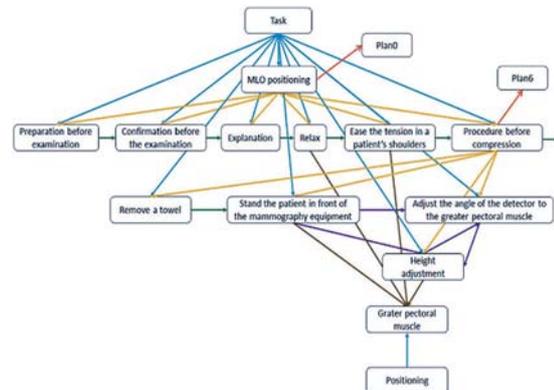


図 1 マンモグラフィ撮影技術タスクオントロジー¹⁾の例

言葉で表現することが困難な技術（暗黙知）を十分に明示化することは困難であった。そこで、本研究では、暗黙知を含めた身体動作を詳細に表現するために、タスクオントロジーに全身の関節の動作情報を加えた医療身体動作モデルの構築を行った。

[研究の内容, 成果]

(1) モーションキャプチャーによる各関節の基本運動方向データ収集

動作情報の取得には、モーションキャプチャーを使用した。機器は、Perception neuron (Noitom 社製) を使用した。まず、基礎データとして、左右の上腕、前腕、大腿、下腿などに 31 個のセンサを装着し、各関節の基本運動方向（外旋、内旋、伸展、屈曲など）の

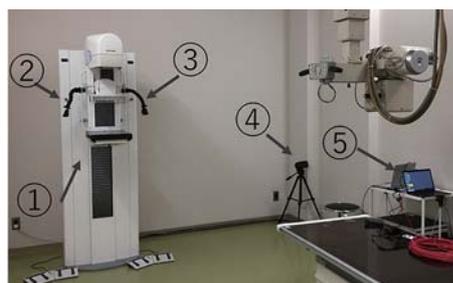
表1 各関節の運動方向と回転軸（一部抜粋）

| 関節 | 測定部位 | 運動方向 | 軸 (回転方向) |
|------|------|------|-------------|
| 右肩関節 | 上腕 | 屈曲 | Z軸 (-) |
| | | 伸展 | Z軸 (+) |
| | | 外転 | Y軸 (-) |
| | | 内転 | Y軸 (+) |
| | | 水平屈曲 | Z軸 (-) |
| | | 水平伸展 | Z軸 (+) |
| 右肘関節 | 前腕 | 屈曲 | Y軸 (-) |
| | | 伸展 | Y軸 (+) |
| 右前腕 | 前腕 | 回内 | X軸 (-) |
| | | 回外 | X軸 (+) |
| 右手関節 | 手 | 掌屈 | Y軸 (-) |
| | | 背屈 | Y軸 (+) |
| | | 撓屈 | Z軸 (-) |
| | | 尺屈 | Z軸 (+) |

データを取得した。取得したデータはソフトウェア Axis Neuron (Noitom 社製) から肩, 肘等の関節の回転動作を表現する角速度を算出した。この角速度と, ソフトウェアで定義された座標系と照合しながら, 92の基本的な運動方向のパターンをまとめた (表1)。モーションキャプチャーデータは, 1フレーム 0.008秒で取得した。

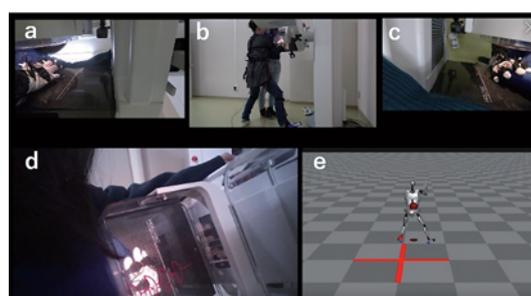
(2) マンモグラフィ撮影動作データの収集

マンモグラフィ検査の経験のある技師3名に技師役, マンモグラフィ撮影経験のない学生に患者役をお願いした。使用マンモグラフィ装置は HOLOGIC LORAD M-IV (日立メディコ製) である。技師役は, (1) で使用したモーションキャプチャーセンサを装着した。患者役は乳房ファントム (トーラスファントム) を装着した。技師役は, 患者役に対して, 臨床現場と同様のマンモグラフィ撮影動作を実践してもらい, リアルタイムでモーションデータを取得した。本研究で対象とした撮影法は左乳房の内外斜位方向撮影とし, データ取得は患者の着替え終了後から, 乳房圧迫完了までとした。データ解析時の撮影手技動作検証用として, 機器の周囲に3台カメラを設置し, さらに, 技師役にもカメラ付きメガネを装着してもらい, 撮影時の様子を録画した。データ収集時の機器の配置を



(①マンモグラフィ装置, ②・③技師の手元動作を撮影するカメラ, ④技師の全身の動作を撮影するカメラ, ⑤モーションキャプチャー取得用PC)

図2 機器の配置



(a: ③のカメラの画像, b: ④のカメラの画像, c: ②のカメラの画像, d: 技師の頭部からの画像, e: モーションキャプチャーデータから生成されたCG)

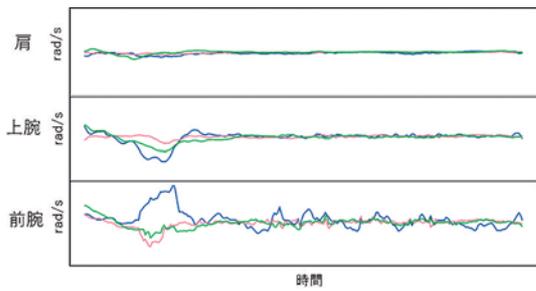
図3 データ取得時に撮影された動画

図2に, データ収集時に取得された動画の1コマを図3に示す。

本研究を進めるにあたり, 北海道大学大学院保健科学院の倫理審査委員会と, 北海道科学大学学長の承認を得た。

(3) 動作データのマッピングと運動方向の同定

モーションキャプチャーデータから生成されたCGとビデオカメラの動画を技師1名が見比べ, 先行研究にて構築されたタスクオントロジーに記載されたタスクとのマッピングを行った。なお, 先行研究で構築されたオントロジーが160を超えたが, その中から本研究で取得したデータに対応する範囲の13タスクに限定して分析を進めた。3名の技師のモーションデータをマッピングした後, 3名が共通して行っていたタスクを抽出し, 以降の分析対象とした。分析対象となったデータから, 各関節の角速度データを算出し, これらの時間変化を波形で表示し



(X軸：青, Y軸：ピンク, Z軸：緑)

図4 「乳房を持ち上げる」タスクにおける波形データの例

た(図4)。波形の形状を表1と照合し、各部位の回内、外旋などの運動方向を同定した。2名以上の技師より確認された動作をそのタスクの関節動作とした。なお運動方向の同定の際には動画データも参照した。

(4) 医療身体動作モデル構築

まず、運動方向の関係性を記述したオントロジー(以下、運動オントロジー)を構築した。運動オントロジーの構築では、まず、概念(クラス)をカテゴリー化し、それを階層構造で記述する。上位クラスには、既存の解剖学オントロジーである Foundational Model of Anatomy²⁾を参照し、「屈曲」、「伸展」、「回内」、「回外」などの運動方向を記述した。その下位クラスには、「関節可動域表示並びに測定法」³⁾を参考に「肩関節」や「肘関節」等の部位と運動方向を組み合わせた「右肩関節の内旋」、「左手関節の背屈」などの概念を作成した。

次に、先行研究にて構築されたタスクオントロジーのタスクと運動オントロジーの最下位クラスの関係性(プロパティ)の記述を行い、医療身体動作モデルを構築した。タスクと運動オントロジーの最下位クラスのプロパティとして、新しく「hasMotion」導入した。

オントロジー構築には、オントロジーエディタ Protégé 5.5.0 を使用した。

(5) 評価

オントロジーモデルの内容の妥当性について、技師1名がクラス間の関係性を Protégé のプラ

グインである Ontograf によって可視化し、記述に間違いがないか確認を行った。

(6) 結果

取得されたモーションデータは平均 56.7 ± 5.8 秒であった。このデータをタスクオントロジーへマッピングを行った結果、本研究で解析対象となったタスクは6(46%)であった。運動オントロジーは、最大4階層、全100クラスが記載された(図5)。

医療身体動作モデルの構築において、プロパティ「hasMotion」は62記述された。表2に各タスクに記述された「hasMotion」の数を示す。1つのタスクに対して、7~15の運動オントロジーの下位クラスが紐づけられた。この結果から、1つのタスクには1つの関節運動ではなく、複数の運動から構成されていることが明らかとなった。例として、「乳房を持ち上げる」という動作には9つの関節運動が紐づけられたが、これは、経験を積むに従って複数の関節動作が一連の動作としてチャンク化され、「乳房を持ち上げる」と認識されていると考える。チャンク化されたタスクに複数の関節運動が紐づけられたことは、暗黙的な知識が反映された結果であるとも考えることができる。

構築された医療身体動作モデルの例を図6に

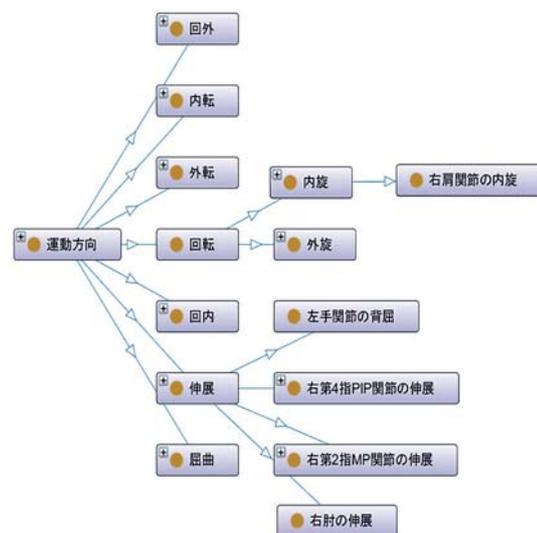
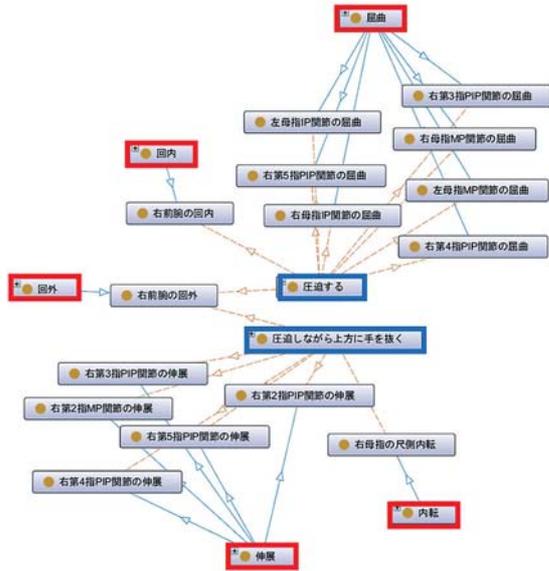


図5 運動方向オントロジーの階層構造(一部抜粋)

表2 抽出されたタスクと hasMotion の数

| タスク | hasMotion の数 |
|-----------------------|-----------------|
| 受診者の大胸筋の角度に受像器を傾ける | 15 |
| 受診者の検側側の肩に技師の同側の手を乗せる | 9 |
| 乳房を持ち上げる | 9 |
| 胸壁端を固定する | 11 |
| 圧迫する | 11 |
| 圧迫しながら手を上方に抜く | 7 |



(赤枠は運動方向の上位概念、青枠はタスクを示す。青矢印は運動オントロジーの階層構造、黄矢印は hasMotion 関係を示す)

図6 構築されたオントロジー (一部抜粋)

示す。図6では「圧迫する」と「圧迫しながら手を上方に抜く」というタスクとそれに関係した運動オントロジーの最下位クラスが紐づけられている。この2つのタスクを比較してみると、共通する運動は「右前腕の回内」のみであった。手指の動きについて、前者では「屈曲」動作、後者では「伸展」動作が行われていた。この2つのタスクは連続した動作であるため、このプロセスの間では、手指の動作が屈曲から伸展へ変化していることも明らかとなった。

以上より、モーションキャプチャーから得られた関節運動をタスクと紐づけ医療身体動作モデルを構築したことで、タスクと周辺に存在する知識の構造が把握でき、さらに、タスク間の比較により共通する関節動作やその差異が明らかとなった。この知見は、医療者の効率的な医療技術習得への一助になると考えている。

[今後の研究の方向、課題]

本研究の成果をベースとして、医療者が医療技術を効率的に習得し、かつ、迅速で安全な手技を共有するシステムの構築を目指したい。このシステムが将来的には、コンピュータによる医療動作の再現や処理が可能となり、安全で効率的な手技の提案や、新たな技術開発にも貢献できると考えている。

しかし、課題も挙げられる。本研究への協力を頂けた技師が3名であったため、十分な動作の評価ができなかった可能性がある。本研究では、モデル構築法の確立に向けた検討に重きを置いたが、今後は、モデルの妥当性を担保するために被験者数を増やして更なる検討を続ける必要があると考える。また、一定の精度の解析を進めるためには、波形データの自動解析方法についても検討が必要である。

[参考文献]

- 1) Yagahara A, Yokooka Y, Jiang G, et al. Construction of Mammographic Examination Process Ontology Using Bottom-up Hierarchical Task Analysis. Radiol Phys Technol. 2018 Mar ; 11(1) : 73-81.
- 2) Rosse C, Mejino JL. A reference ontology for biomedical informatics: the foundational model of anatomy. J Biomed Inform. 2003 ; 36(6) : 478-500.
- 3) 米本恭三, 石神重信, 近藤 徹. 関節可動域表示ならびに測定法, リハビリテーション医学, 1995, 32巻, 4号, pp. 207-217

[成果の発表, 論文等]

谷川原綾子, 井上 剛, 北川 剛他. モーションキャプチャーによるマンモグラフィ撮影動作表現手法の検討. 医療情報学会北海道支部学術大会. 2019年6月29日

谷川原綾子, 井上 剛, 北川 剛他. モーションキャプチャーとタスクオントロジーを用いたマンモグラフィ撮影における暗黙知のモデル化. 第39回医療情報学連合大会. 2019年11月23日発表予定