

研究報告

肘の高さに違いによる机上リーチ動作への影響について —Kinectを用いた脳卒中異常運動パターン検出システムの開発にむけて—

石田 圭二¹⁾ 田端 晟定²⁾ 笠川 慎矢³⁾ 山西 輝也⁴⁾
熊谷 のぞみ¹⁾ 小林 康孝¹⁾ 古荘 純次⁵⁾

要 旨: 手部、肘部の運動軌跡を記録できる Kinect を使った簡易で安価な計測システムを用いて、健常者 20 名の肘を高くした場合と通常のリーチ動作について①手部の運動軌跡、②手部の側方移動距離、③肘部の運動軌跡、④動作時間を比較した。前方向リーチ動作時の手部側方移動距離において肘を高くしたリーチ動作が有意に大きかった ($P < 0.01$)。また両者で肘部の運動軌跡について違いがみられた。

【Key words】 Kinect , リーチ動作, 動作分析

緒 言

動作分析 (Motion analysis) は、動作メカニズムを詳細に解説するとともに、分析で得られた情報をもとに動作障害の要因を探る臨床推論をするために非常に重要である。3 次元動作分析システムとしては VICON を代表とする光学反射式モーションキャプチャなどがある。

Kinect for Windows (以下 Kinect) は、非常に安価な 3 次元モーションキャプチャであり、低コスト化が図れ、施設や在宅など幅広い場面で訓練システムに組み込むことが可能である。現在、高齢者のケアと脳卒中リハビリテーションで、身体運動の評価機器の分野、リハビリテーション訓練法の分野、転倒探知など介護上の管理方法の分野で Kinect を用いる研究が進んでいる¹⁾。また測定精度においても、臨床での使用について適切なレベルの範囲内であることも示されている²⁻⁴⁾。

Levin⁵⁾らは 10 名の脳卒中患者で、平面上の前後方向リーチ動作において、手部運動軌跡と肩と肘の関節運動を測定し、脳卒中のリーチ動作における特徴は運動速度低下、運動軌跡の変動の大きさ、運動の不連続性であると述べている。また、リーチ動作時の異常運動では屈筋

共同運動が出現しやすく、その運動要素である肩甲骨挙上および肩外転し肘部挙上した状態でのリーチ動作も多くみられる。

脳卒中ガイドライン 2009 (上肢機能障害に対するリハビリテーション)⁶⁾で「robotic therapy は、麻痺側の肩と肘の運動機能を改善させる。」とあるように、上肢ロボット訓練は脳卒中の上肢訓練として有効であり、その代表的な端点把持型 (End-effector Type) のロボット訓練では、バーチャルリアリティで提示されたゲーム形式の課題を行うために、上肢でロボットアームの先端操作部 (End-effector) を把持し、様々な空間へのリーチ動作を行うことで先端操作部を動かしロボット操作が行われている。しかし、現在の上肢ロボット訓練では異常パターンを検出し運動調整を行うものがほとんどないために、リーチ動作に見られるような異常運動パターンを用いてロボット操作することが多くみられる。そこで上肢訓練ロボットと Kinect を組み合わせ、Kinect の動作データをもとにロボットのアシスト機能や機能的電気刺激を与えることで理想的な運動軌道に運動調整を行い近づけるシステム開発などの研究が行われ始めている^{7,8)}。

我々は、開発中の上肢訓練ロボットと Kinect を組み

1) 福井医療短期大学 リハビリテーション学科

2) 福井工業大学大学院 博士前期課程 応用理工学専攻 機械工学コース

3) 福井工業大学大学院 博士前期課程 社会システム学専攻 経営情報学コース

4) 福井工業大学 環境情報学部

5) 大阪電気通信大学 医療福祉工学部

(受付日 2015年5月)

合わせることで、ロボット訓練中にみられる異常運動パターンに関するフィードバック訓練を可能にするために、Kinect を用いて脳卒中患者の異常運動パターン（①運動速度低下、②運動軌跡の変動、③不連続性、④肘部の運動軌跡）の出現を、検出できる簡易で安価な計測システムを開発した。

本研究では、健常者を用いて、脳卒中患者によく観察される肘を高くしたリーチ動作と通常のリーチ動作を Kinect によるシステムで測定し、①運動速度低下、②運動軌跡の変動、③肘部の運動軌跡、④動作時間について比較することで、測定システムの異常運動測定の可能性に関して検討する。

研究対象と方法

1. 対象

対象は協力が得られた健常者 20 名である。性別は男性 10 名、女性 10 名、利き手は右利き 18 名 修正右利き 2 名、年齢は 32.20 ± 8.25 歳、座高 86.68 ± 6.94 cm、上肢長（肩峰～第 3 指尖）は 70.80 ± 5.24 cm であった。（表 1）

表 1 対象

性別	男性10名、女性10名
利き手	右18名、修正右利き2名
年齢	32.20 ± 8.25 歳
座高	86.68 ± 6.94 cm
上肢長(肩峰～第3指尖)	70.80 ± 5.24 cm

2. 方法

1) 測定機器

測定機器は Kinect を用いた。Kinect[®]は、赤外線ソースおよび赤外線センサーで構成された深度センサーと、RGB カメラを内蔵した小型（30×8×6cm）、軽量（1.4kg）の 3 次元のモーションキャプチャである。Kinect では、投光した赤外線パターンを読み取り、パターンのゆがみから深度情報を得る「Light Coding」という方式が採用され、これにより深度の違いを濃淡で示された「距離画像」を取得する。そして「距離画像」を基に、ソフトウェア上で身体部位をパターン認識し、20 個の関節として骨格を推定しトラッキングを行う。このため、光学反射式モーションキャプチャで必要であったマーカーが不要になり、測定対象者の負担軽減につながる。

Kinect の位置情報は、カメラ上の画素とその距離情報

で構成される空間座標で示され、垂直座標および水平座標にあたる「骨格座標」はメートル単位で、奥行き座標である「深度座標」はミリ単位で取得できる。推奨される測定範囲は、Kinect から水平で 57 度、垂直 43 度、深度情報の取得範囲は 0.8～4.0m とされている。また、RGB カメラも搭載されているので、2 次元のビデオ画像も取得が可能である。

2) 課題

机上リーチ動作は椅子座位で行った。使用するテーブルの高さは、座面より 25cm 上方で、被検者の腹部より 10cm 前に設定した。被検者は体幹の代償動作を制限するためにベルトで椅子に固定した。

リーチ動作は、端点型上肢リハビリロボットの把持部に似たブロックを用い、利き手で行った。リーチ運動(図 1)は、体幹の正面で、机手前から前方 10cm とさらに前方 20cm に示された 2 つの目標間で 9 往復する動作を、①自然な状態（「普通に往復運動を行ってください」）と②肘高位の状態（「肘を意識的に上げた状態で往復運動を行ってください」）の 2 回行った。

3) 測定方法

Kinect を用い課題中のビデオ画像、手部と肘部の座標情報を記録した。

Kinect は、リーチ動作の手部軌道の中心から前方 220cm に置き、高さは机上面から上方 15cm に設置した(図 1)。そして、9 往復動作の計測データから、ビデオ画像および手部の軌跡データをもとに、運動が安定する第 4 試行から第 6 試行の 3 往復動作のデータを抜き出した。その後 3 往復のデータを、前方向に向かってのリーチ（以下、前方向リーチ）と、後方向へ向かってのリーチ（以下、後方向リーチ）に区別した。

測定項目は、手部における運動軌跡の不連続性を確認するために、①手部の運動軌跡を測定した。また手部の運動変動性の指標として、前後運動に伴う側方方向上の最大運動距離を②手部の側方移動距離として測定した。次に肘部における不連続性を確認するために矢状面における③肘部の運動軌跡を測定した。最後に、運動速度低下の指標として④動作時間を測定した。

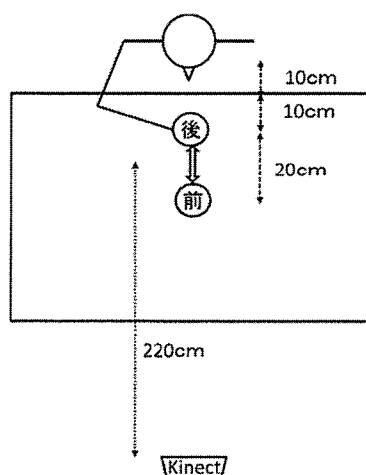


図1 課題および測定方法

課題は 20cm 離れた前方目標と後方目標間でブロック移動をおこなった。
Kinect は目標の正面で、目標間の中央から 220cm 前方に設置して測定を行った。

4. 解析方法

②手部、④動作時間の側方方向移動距離の2つの測定項目は、自然位と肘高位間における差の検定のため Wilcoxon 符号付順位和検定を行った。

5. 倫理的配慮

研究実施に当たり、全対象に研究の目的および方法について十分説明を行い、同意を得た。本研究は、新田塚医療福祉センター倫理審査委員会による承認(承認番号 27-6 号)を受けて実施した。

結 果

1. 手部の運動軌跡

ビデオ画像にて、手部の律動的な前後方向運動を、すべての被験者で確認できた。

手部の動き(図2)を、前後座標が縦軸で時間経過を横軸にして図示すると、全被験者の自然位および肘高位のすべてのリーチ動作で、正弦曲線に似た軌跡を示し、安定した律動的に前後運動を繰り返す運動が認められた。

2. 手部の側方移動距離

前方向リーチは、自然位 $1.20 \pm 0.59\text{cm}$ 、肘高位 $2.18 \pm 1.37\text{cm}$ となり、両者間で有意な差を認めた($p < 0.01$)。後方向リーチでは、自然位 $1.23 \pm 0.53\text{cm}$ 、肘高位 $1.83 \pm 1.29\text{cm}$ であり、両者間に有意な差は認めなかった(表2)。

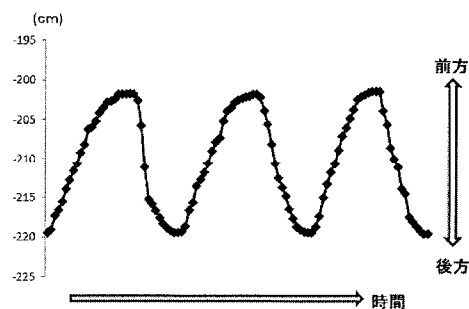


図2 前後往復リーチ動作における手部の動き
運動前後座標を縦軸、時間経過を横軸で手部の動きを図示した。

3. 肘部の運動軌跡

肘部の矢状面における座標情報を基に、典型例の肘部の運動軌跡(図3)を示す。自然位のリーチに動作において、後部では前方向リーチと後方向リーチ共に下方にあり、中間部で急激な上昇および下降が見られ、前部で上方に位置している軌跡を示している。この傾向は20名中18名の被験者に見られた。残り2名は、リーチ動作中に上下動や前後動を繰り返す不安定な軌跡が認められた。一方、肘高位では、前方向リーチと後方向リーチの両方で、上下動や前後動を繰り返す不安定な軌跡が20名中15名に認められた。残りの5名は自然位でみられた後方部から前方部にかけて上昇する軌跡が認められた。

表2 測定結果

	動作時間(Sec)		手部の側方移動距離(cm)	
	前方向リーチ	後方向リーチ	前方向リーチ	後方向リーチ
自然位	0.98 ± 0.32	0.94 ± 0.31	1.20 ± 0.59	1.23 ± 0.53
肘高位	1.24 ± 1.08	1.23 ± 1.23	2.18 ± 1.37	1.83 ± 1.29

*** $P < 0.01$

4. 動作時間

前方向リーチは、自然位 $0.94 \pm 0.98\text{Sec}$ 、肘高位 $1.24 \pm 1.08\text{Sec}$ となり、両者間で有意な差は認めなかった。後方向リーチは、自然位 $0.94 \pm 0.31\text{Sec}$ 、肘高位 $1.23 \pm 1.23\text{Sec}$ で、有意な差は認めなかった(表2)。

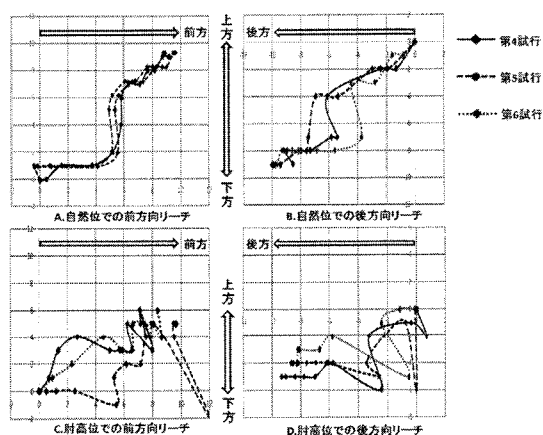


図3 典型例の矢状面から見た肘部運動軌跡

自然位のA.前方向リーチ、B.後方向リーチと肘高位のC.前方向リーチ、D.後方向リーチについて、上下軸を縦軸、前後軸を横軸（前方向リーチは左→右、後方向リーチは右→左の運動となる）にして、矢状面における肘部軌跡をあらわした。

考 察

1. 手部の運動軌跡および側方移動への影響について

肘高位における肘部の運動軌跡では上下動や前後動を繰り返す不安定な軌跡を示していたが、手部の運動軌跡は直線的な調整された運動が行われていた。肘関節および手関節において、肘の不安定さを調整するような動きが生じたと考えられる。しかし、運動軌跡変動に関する指標である手部側方移動距離は、前方向リーチ動作時において、肘高位のほうが有意に大きかった。肘高位における肘部の運動軌跡の不安定さが、前方向リーチ動作の運動軌跡に影響したと考えられる。

2. 肘部の運動軌跡への影響について

肘部の運動軌跡は、自然位リーチで、後方部から前方部にかけて上昇する軌跡が多く認められた。机上での前後方向リーチ動作は、主に肩関節の屈伸運動と内外転運動の組み合わせ要素で行われ、肩関節を中心にそれらの運動が行われるため肘の高低に影響する。多くの健常者に、後方部から前方部にかけて上昇する軌跡が多く認められたのは、肩の屈伸に伴い肘が上下したと考えられる。また手部の前後運動は、短い移動範囲ながらも、肩関節の内外旋運動と肘の内外転運動の組み合わせでも可能である。この組み合わせでは、肘は必ずしも前後および上下する必要はなく、軌跡は不安定な状態になる。自然位のリーチ動作で、不安定な軌跡を示した2名は、肩関節の内外旋要素を使いながらリーチ動作を行

ったことが考えられる。一方、肘高位では、リーチ動作中に上下動や前後動を繰り返す不安定なものが増えた。肘高位を維持するためには、肩甲骨挙上を行う僧帽筋や肩甲挙筋、肩関節外転を行う三角筋中部線維などの活動が必要になり、リーチ動作中にそれらの筋活動が影響し、肘部が上下動や前後動を繰り返す不安定性を示したものと考えられる。

3. 動作時間への影響について

運動速度低下指標として動作時間を自然位と肘高位で比較したところ、運動の協調性に問題のない健常者では有意な差は認めなかった。健常者の肘高位のリーチ動作においても、著明な不連続運動や最高速度の低下は認められなかったため明確な差がなかったと考えられる。

4. 異常運動測定の可能性について

Trombly¹⁰⁾らは脳卒中患者のリーチ動作中の手部の軌跡を測定し、健常側上肢では連続運動になるが、麻痺側上肢では運動が予期した標的に達しないために、潜在意識のなかで運動を修正する不連続運動になり、また同時に最高速度の低下も認められると述べている。脳卒中患者では①運動速度低下、②運動軌跡の変動、③不連続性が、健常者よりも著明に現れることになる。また脳卒中患者では、リーチ動作時に屈筋共同運動が出現し、肩甲骨挙上や肩関節外転の運動要素が肘の運動に影響する。共同運動の出現は運動負荷時に大きくなり、リーチ動作において筋活動の必要な加速期や減速期および運動の不安定がみられた時の修正時が予測される。一方健常者では手部が前方に動くなどリーチ方向や移動距離で決定され、肘の運動軌跡において健常者と脳卒中患者では大きく異なることが考えられる。そして手部においても、屈筋共同運動が出現すると、肘関節屈曲や手関節掌屈などの不随意運動が起こり、そのため健常者ではみられた肘関節の不安定さを調整する肘関節や手関節の活動もなくなり、手部の非連続性や変動性などの手部不安定さがより大きくなることが予想される。

脳卒中患者におけるリーチ動作の肘部、手部の運動軌道は、健常者と比較して、時間的にも、質的にも、量的にも異なり、その異常要素を検出できる可能性は十分に考えられる。

結 語

Kinect センサーを用いた計測システムを用いて、健康者の肘を高くした場合と通常の前後方向リーチ動作を計測した。両者間で手部の側方移動距離と肘部の運動軌跡で違いが認められた。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 研究課題番号：24300205 の助成を受けた。

文 献

- 1) David W. Ozkan C: Systematic review of Kinect applications in Elderly care and stroke rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 11:108-132,2014.
- 2) M Elgendi, F Picon et al: Arm movement speed assessment via a Kinect camera: A preliminary study in healthy subject. *BioMedical Engineering* 13:88-102, 2014.
- 3) T. Dutta: Evaluation of the kinect sensor for 3-d kinematic measurement in the workplace. *Applied Ergonomics* 43: 645–649, 2012
- 4) 為井 智也, 柴田 智広, 和田 佳郎:kinect を用いた姿勢制御の簡易計測システム.*Equilibrium Research* 72 Suppl:391,2014.
- 5) Levin MF:Interjoint coordination during pointing movements is disrupted in spastic hemiparesis. *Brain* 119:281-293.1996
- 6) 篠原幸人: 脳卒中治療ガイドライン (2009) ,協和企画.2009.
- 7) Timothy E, Christopher F, Katie M et al: IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics(ICORR) 2013.
- 8) Elizabeth B. Peter S. Rory A al: IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics(ICORR) 2013.
- 9) 上田智章 : 奥行きカメラ kinect で 3D 計測.トランジスタ技術,2012(8)
- 10) Trombly CA:Deficits of reaching in subject with left hemiparesis:a pilot study.*AM J Occup Ther* 46:887-897,1992.