

# 簡易なモーションセンサを用いた机上リーチ動作中における 脳卒中の異常性検出 —身体部位間の距離測定における再検査信頼性—

石田 圭二<sup>1)</sup> 熊谷 のぞみ<sup>1)</sup> 小林 康孝<sup>2)</sup>

**要 旨：**我々は簡易なモーションセンサである Kinect を用いて、机上リーチ動作中(前後往復動作)における身体部位間の距離を測定し、検査—再検査信頼性を検証した。結果は手部が最も前方にある最大前方位置の手・肩距離(前後軸)、手・頭距離(前後軸)の 2 項目は、全被検者(健常者および脳卒中患者)における検査と再検査の比較で有意な差が認められず、高い ICC(0.87~0.88)が認められた。また脳卒中患者—健常者間の差( $p < 0.01$ )、重度麻痺患者—軽度麻痺患者間の差( $p < 0.01$ )、脳卒中患者の上肢評価結果との相関(0.50~0.69)も認められた。そして脳卒中患者—健常者間、重度—軽度間の差の平均が、それぞれ全被検者および脳卒中患者のみの最小可検変化量(MDC)より大きくなった。これらの結果から手・肩距離(前後軸)および手・頭距離(前後軸)は、脳卒中患者の識別と上肢機能障害の重症度検出の指標となる可能性が示唆された。

【Key words】 脳卒中, Kinect, 動作分析

## 緒 言

慢性期の脳卒中患者においても、集中的に患側上肢を使用することが脳の可塑性を刺激し、回復を促進することが明らかにされている<sup>1)</sup>。我々は在宅などの自主訓練やフィードバック訓練を実現することを目的に、安価で、簡易なモーションセンサである Kinect を用いて、脳卒中特有の運動を評価するシステムの開発を行っている。そこで上肢訓練でよく用いられる机上リーチ動について、角度計測に比べ測定点が少なく測定誤差が少ないと予想される身体部位の距離に直目し、Kinect 測定における異常性検出の可能性を検討してきた<sup>2), 3)</sup>。脳卒中患者および健常者を対象にした身体部位(手部, 肘部, 肩部, 頭部)の最大軌道幅に関する再検査信頼性研究<sup>4)</sup>では、手部の前後往復動作において、リーチ動作中の体幹代償の指標として考えられる肩部の前後軸と頭部の水平軸の最大移動幅で、被検者全体における検査—再検査の差は認められず、その上で高い級内相関係数(Intraclass Correlation Coefficients : 以下 ICC) (0.81~0.86)<sup>5)</sup>、脳卒中患者にお

ける上肢機能検査(上田式, MAS)との相関(0.49~0.65)、脳卒中患者—健常者間の差( $p < 0.01$ )、重度—軽度間の差( $p < 0.01$ )が認められた。同時に脳卒中患者と健常者の平均値の差は、全被検者の最小可検変化量(Minimal Detectable Change, 以下 MDC)<sup>5)</sup>より大きくなった。肩部の前後軸、頭部の水平軸における最大移動幅の Kinect 測定で、脳卒中患者の体幹代償動作に関連する識別が可能になった。しかし重度グループと軽度グループの平均値の差は、脳卒中患者における MDC より小さく、脳卒中患者の上肢機能障害の重症度は識別できない結果となった。

リーチ動作の指標としては、身体部位(手部, 肘部, 肩部, 頭部)間の距離も考えられる。例えば手部—肩部間の距離は、肘関節の屈伸運動により決定されるため、手—肩距離は肘伸展の指標となる。また肩—肘間の前後軸および水平軸における距離は、肩の屈伸運動および内外転運動の指標として考えることができる。また脳卒中のリーチ動作では、屈筋共同運動に影響され、肘伸展を伴った肩屈曲が困難となり、それらを多く必要とする手部の

1) 福井医療大学 保健医療学部リハビリテーション学科作業療法学専攻

2) 福井総合病院 リハビリテーション科

(採択日 2018年9月)

前方の作業域では、脳卒中患者の異常性は顕著になることが予想される<sup>6)</sup>。本研究では、机上リーチ動作(前後往復動作)中の手部がもっとも前方にある最大前方位値において、身体部位間距離測定の再検査信頼性の検証と脳卒中上肢障害との関連性について検討を加える。

## 方 法

### 1. 被験者

被検者は 40 歳以上の健常者 18 名(男性 9 名, 女性 9 名, 平均年齢  $57.69 \pm 9.84$  歳, 座高  $86.28 \pm 3.38$ cm 上肢長  $70.40 \pm 4.17$ cm)と脳卒中患者 18 名(男性 14 名, 女性 4 名, 平均年齢  $63.90 \pm 12.50$  歳, 座高  $86.17 \pm 5.35$ cm, 上肢長  $70.53 \pm 3.95$ cm, 発症後平均月数  $11.8 \pm 17.3$  ヶ月)である。脳卒中患者の特性を表 1 に示す。

表 1. 脳卒中患者の特性

ID	年齢 (歳)	病型	麻痺側	上肢長 (cm)	Grade (上肢)	Grade (手指)	MAS (肘)
1	67.4	梗塞	右	75.5	5	5	2
2	54.9	梗塞	左	73.5	6	2	1+
3	60.9	梗塞	右	65.5	6	1	2
4	44.2	出血	右	77.0	6	4	3
5	67.0	梗塞	右	69.0	7	3	1+
6	49.8	梗塞	右	72.5	8	7	1
7	69.5	梗塞	右	64.0	8	5	2
8	77.1	梗塞	右	68.0	8	9	1+
9	74.2	出血	左	69.5	8	11	2
10	74.2	出血	右	70.0	9	9	1
11	76.1	梗塞	右	67.5	11	8	0
12	45.3	出血	右	75.0	11	11	1
13	40.5	出血	右	75.5	11	9	1
14	73.3	梗塞	左	68.5	11	10	0
15	57.4	出血	右	75.5	11	10	1
16	63.7	出血	左	68.0	11	11	1
17	79.1	梗塞	左	67.5	12	10	0
18	75.5	梗塞	右	67.5	12	12	0
63.90				70.53	8.94	7.61	

### 2. リーチ動作

リーチ動作には、直径 3cm の円筒縦型把持部および直径 9cm の円筒型底部のブロックを用いた。机上中央における手の前方最大到達点から 10cm 手前を前方目標、その後方 20cm を後方目標とした。被検者は 20cm の前後往復動作(前方-後方目標間)を 10 回行った(図 1)。移動経路をはみ出さないように行うように指示し、動作スピードは指示しなかった。

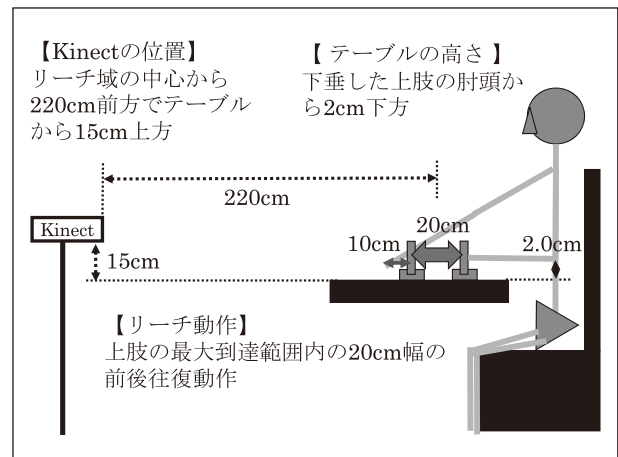


図 1. リーチ動作および測定方法

### 3. 測定

脳卒中患者の麻痺側動作と健常者の利き側動作について、検査および再検査の 2 回計測した。検査と再検査の間隔は 3 日間とした。測定項目は肘-肩距離、手-肩距離、手-頭距離の 3 つの身体部位間距離(水平軸成分、垂直軸成分、前後軸成分)を計測した。

### 4. 測定機器

測定には Kinect(v1: Microsoft 社製)を用いた。

Kinect の位置は、リーチ作業域の前方 220cm、高さは机上面から上方 15cm で、使用手側に中央から 30cm 側方に設置した。また机に対して平行に設置した(図 1)。得られたデータは Microsoft Excel に記録した。

### 5. 臨床検査

脳卒中患者は、上田式 12 段階片麻痺機能テストの上肢テスト(12-grade recovery grading system of hemiplegia: 以下, Grade-上肢)および手指テスト(以下, Grade-手指)と Modified Ashworth Scale(以下, MAS-肘)を実施した。

これらの検査は Kinect 測定者以外の作業療法士が実施した。

### 6. データ解析

リーチ動作中に、手部が最大前方位にある時点の Kinect から得られる肘-肩距離、手-肩距離、手-頭距離に関する①水平軸成分、②垂直軸成分、③前後軸成分の距離と、それらから算出した④距離のデータについて解析を行った。

手順としては、まず左右差の影響をなくすために、左上肢で行った課題は左右反転してデータ処理を行った。次に運動が安定にした 3 往復運動を抜き出し、以下の(1)式で示すローパスフィルタ(1 次遅れ系)で処理した。

$$x(n) = \frac{T_s u(n) + T_f x(n-1)}{T_s + T_f} \quad (1)$$

式(1)で  $u(n)$  は 1 次遅れ系への入力データ(生データ),  $x(n)$  は 1 次遅れ系からの出力(ノイズ除去後のデータ)である。サンプリングタイム  $T_s$ , フィルタ時定数  $T_f$  に関しては,  $T_s=0.38$  秒,  $T_f=0.08$  秒とした。そして手部が行う 1 往復動作中に Kinect から得られるデータの最大値と最小値の差を求め, 連続した 3 往復動作の平均値を最大軌道幅の実測値として求めた。また同時に最大軌道幅の実測値の上肢長に対する 100 分率を算出することを目的に, 上肢長の実測値から Kinect 座標における上肢長を求めた。方法は, まず健常者 18 名(72 動作)の手部 20cm 移動時の Kinect 測定値が  $17.84 \pm 1.21$  となるために, メートル法(cm)に対する Kinect 座標上距離の比率を 0.89 とした。実測した上肢長(cm)にこの比率を掛け合わせることで Kinect 座標の上肢長を算出した。最後に Kinect 座標の上肢長に対する最大軌道幅の実測値の 100 分率を距離比率(最大軌道幅の実測値/Kinect 座標の上肢長  $\times 100 : \%$ )として求めた。

距離比率(最大軌道幅の実測値/Kinect 座標の上肢長  $\times 100 : \%$ )について以下の解析を行った。なお検定には SPSS 24.0 for Windows を使用した。

#### 1) 検査—再検査の差の検定と SEM, MDC, ICC

健常者, 脳卒中患者, 健常者および脳卒中患者を合わせた全被検者について検査—再検査間の差の検定を行った。検定は関連のある t 検定を行った。また検査—再検査に関する標準誤差(Standard Error of Measurement, 以下 SEM)<sup>5)</sup>, MDC と ICC(一元配置変量)を以下の(2)式, (3)式, (4)式で求めた。

$$SEM = \frac{SD_d}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

$$MDC = \sqrt{2} z SEM \quad (3)$$

式(2), (3)で  $SD_d$  は検査—再検査における測定値差の標準偏差,  $\sqrt{2}$  は正規化された 2 つの測定値群の分散和の標準偏差,  $z$  は 95%信頼区間の値であり 1.96 となる。

$$ICC = \frac{BMS - WMS}{BMS + (k - 1)WMS} \quad (4)$$

式(4)で  $k$  は被検者数,  $BMS$  は分散分析で得られる級間平均平方,  $WMS$  は級内平均平方を示す。

#### 2) 健常者と脳卒中患者の差

脳卒中患者(検査と再検査のデータ)と健常者(検査と再検査のデータ)の差の検定を行った。検定は t 検定を行っ

た。また脳卒中と健常者の平均値における差を求めた。

#### 3) 上肢の重度麻痺と軽度麻痺の差

脳卒中被検者(検査と再検査のデータ)について Grade-上肢の結果から Grade9~12 の 9 名を軽度麻痺グループ, Grade5~8 の 9 名を重度麻痺グループとして, 軽度麻痺グループと重度麻痺グループの差の検定と両グループの平均値における差を求めた。検定は t 検定を行った。

#### 4) 上肢機能障害(臨床検査)との相関

脳卒中麻痺側の最大軌道幅と Grade-上肢, Grade-手指, MAS-肘との相関関係を調べた。検定は Spearman の順位相関係数を用いた。

#### 7. 倫理的配慮

被検者に実験内容について十分な説明を行い, 同意を得ている。なお本研究は新田塚医療センター倫理委員会の承認を得ている(整理番号 新倫 27-6 号)。

## 結 果

### 1. 検査—再検査の差の検定と SEM, MDC, ICC

#### 1) 健常者

検査と再検査で有意差を認めたものは, 手・肩距離の水平軸( $p < 0.05$ ), 手・頭距離の水平軸( $p < 0.05$ )であった。検査と再検査の平均値の差は 0.03~2.10%の範囲であった。SEM は 1.32~4.74%で, 平均は 2.58%であった。MDC は 3.65~13.15%の範囲であった。検査—再検査間の ICC 値が 0.6 以上の項目は, 肘・肩距離(前後軸), 手・肩距離(前後軸), 手・頭距離(垂直軸), 手・頭距離(前後軸), 手・頭距離(距離)であった(表 2-1)。

#### 2) 脳卒中患者

検査と再検査で, 手・肩距離の垂直軸( $p < 0.05$ ), 手・肩距離の距離( $p < 0.05$ )は有意差を認めた。検査と再検査の差の平均値は 0.51~2.97%の範囲であった。SEM は 1.83~5.66%, 平均は 3.74%で, MDC は 5.06~15.68%の範囲であった。ICC 値が 0.6 以上の項目は肘・肩距離(水平軸), 手・肩距離(垂直軸), 手・肩距離(前後軸), 手・肩距離(距離), 手・頭距離(水平軸), 手・頭距離(前後軸), 手・頭距離(距離)であった(表 2-2)。

#### 3) 全被検者(健常者, 脳卒中患者)

検査と再検査で有意な差を認めたものはなかった。検査と再検査の差の平均値は 0.07~1.26%の範囲であった。

SEM は 1.74~4.99%で平均は 3.29%であった。MDC は 4.83~13.83%の範囲であった。ICC 値が 0.6 以上の項目は、肘・肩距離(水平軸)、肘・肩距離(前後軸)、手・肩距離(垂直軸)、手・肩距離(前後軸)、手・肩距離(距離)、手・頭距離(水平軸)、手・頭距離(垂直軸)、手・頭距離(前後軸)、手・頭距離(距離)であった(表 2・3)。

表 2. 検査-再検査の差の検定と SEM,MDC,ICC

	検査 (%Mean±SD)	再検査 (%Mean±SD)	検査-再検査 (%Mean±SD)	SEM(%)	MDC(%)	ICC
1)健常者						
肘・肩距離	6.59±2.80	5.93±1.92	0.66±2.26	1.60	4.42	0.55
手・肩距離	23.75±2.26	25.21±2.45	1.46±2.95	2.09	5.78	0.13
手・頭距離	21.90±2.97	22.12±3.57	0.22±1.86	1.32	3.65	0.85
距離	33.22±2.10	34.21±3.39	0.99±2.74	1.94	5.38	0.50
肘・肩距離	15.10±3.75	17.20±2.73	2.10±3.95*	2.79	7.73	0.18
手・肩距離	31.52±4.54	32.71±2.52	1.20±3.96	2.80	7.77	0.40
手・頭距離	59.83±5.13	59.88±3.42	0.05±3.74	2.64	7.33	0.65
距離	69.52±5.16	70.48±3.06	0.96±4.33	3.06	8.49	0.48
肘・肩距離	-8.51±3.69	-6.78±2.59	1.73±3.38*	2.39	6.63	0.36
手・肩距離	71.74±6.61	72.76±5.16	1.02±3.32	2.35	6.50	0.84
手・頭距離	54.19±7.97	54.16±6.83	0.03±6.71	4.74	13.15	0.61
距離	90.66±7.31	91.11±7.17	0.44±4.57	3.23	8.95	0.81
2)脳卒中患者						
肘・肩距離	9.27±3.80	9.78±3.91	0.51±2.58	1.83	5.06	0.78
手・肩距離	26.09±4.15	25.32±4.73	0.77±4.72	3.34	9.25	0.45
手・頭距離	17.32±6.05	17.57±6.44	0.25±5.76	4.07	11.29	0.59
距離	33.42±3.89	33.55±3.52	0.13±5.41	3.83	10.61	-0.04
肘・肩距離	16.21±4.76	15.57±4.27	0.64±4.91	4.29	11.88	0.41
手・肩距離	36.33±5.23	34.29±6.29	2.04±3.66*	2.59	7.17	0.76
手・頭距離	51.1±7.56	50.29±7.46	0.81±3.86	2.73	7.57	0.87
距離	65.26±6.11	63.37±6.35	1.89±3.23*	2.29	6.34	0.83
肘・肩距離	-10.53±5.62	-11.98±7.94	1.45±6.14	4.34	12.02	0.60
手・肩距離	70.59±7.06	67.73±7.28	2.86±6.57	4.65	12.88	0.54
手・頭距離	37.85±12.44	35.64±14.19	2.22±7.42	5.25	14.54	0.84
距離	81.72±8.70	78.75±10.23	2.97±8.00	5.66	15.68	0.62
3)全被験者(健常者、脳卒中患者)						
肘・肩距離	7.93±3.56	7.86±3.61	0.07±2.46	1.74	4.83	0.77
手・肩距離	24.92±3.50	25.26±3.71	0.34±4.04	2.86	7.92	0.38
手・頭距離	19.61±5.24	19.84±5.63	0.24±4.22	2.98	8.27	0.71
距離	33.32±3.08	33.75±3.43	0.43±4.27	3.02	8.36	0.15
肘・肩距離	15.65±4.26	16.38±3.63	0.73±4.60	3.26	9.03	0.33
手・肩距離	33.92±5.41	33.50±4.79	0.42±4.10	2.90	8.03	0.68
手・頭距離	55.46±7.75	55.08±7.51	0.38±3.77	2.67	7.39	0.88
距離	67.39±5.98	66.92±6.09	0.47±4.03	2.85	7.91	0.78
肘・肩距離	-9.52±4.80	-9.38±6.39	0.14±5.14	3.64	10.08	0.60
手・肩距離	71.17±6.76	70.25±6.72	0.92±5.50	3.89	10.77	0.67
手・頭距離	46.02±13.22	44.89±14.45	1.13±7.06	4.99	13.83	0.87
距離	86.19±9.12	84.93±10.73	1.26±6.65	4.70	13.03	0.78

\*p<0.05, \*\*p<0.01

あった。また両者間の平均値の差が脳卒中患者の MDC 値以上のものは、手・肩距離(前後軸)、手・頭距離(前後軸)であった(表 3・2)。

#### 4. 上肢機能障害(臨床検査)との相関

Grade-上肢および Grade-手指と 0.4 以上の相関を認めたのは、肘・肩距離(水平軸)、手・肩距離のすべての項目、手・頭距離(前後軸)であった。MAS と 0.4 以上の相関を認めたものは肘・肩距離(水平軸)、手・肩距離(前後軸)、手・肩距離(距離)、手・頭距離(前後軸)であった(表 3・2)。

表 3. 健常者と脳卒中患者の差、軽度麻痺と重度麻痺の差、上肢機能障害(臨床検査)との相関

1)健常者と脳卒中患者の差								
	健常者(%) Mean±SD	脳卒中(%) Mean±SD	健常者-脳卒中 (%)	MDC(%) (全被検者)				
肘・肩距離	水平軸	6.26±2.39	9.53±3.80	3.26**		4.83		
	垂直軸	24.48±2.44	25.71±4.04	0.06		7.92		
	前後軸	22.01±3.24	17.44±6.16	4.57**		8.27		
	距離	33.71±2.82	33.36±3.65	0.36		8.36		
肘・頭距離	水平軸	16.15±3.41	15.89±4.47	0.26		9.03		
	垂直軸	32.12±3.67	35.31±5.79	3.19**		8.03		
	前後軸	59.85±4.30	50.69±7.41	9.16**		7.39		
	距離	70.00±4.21	64.32±6.22	5.68**		7.91		
手・肩距離	水平軸	-7.65±3.26	-11.26±6.82	3.61**		10.08		
	垂直軸	72.25±5.86	69.16±7.21	3.09*		10.77		
	前後軸	54.17±7.32	36.74±13.20	17.43**		13.83		
	距離	90.88±7.14	80.24±9.48	10.65**		13.03		
**p<0.05, **p<0.01								
2)軽度麻痺と重度麻痺の差および上肢機能障害(臨床検査)との相関								
	軽度(%) Mean±SD	重度(%) Mean±SD	軽度-重度 (%)	MDC(%) (脳卒中)	Grade (上肢)	Grade (手指)	MAS (肘)	
肘・肩距離	水平軸	7.54±2.37	11.51±3.98	3.97**	5.06	-0.80	-0.51	0.82
	垂直軸	25.74±3.70	25.67±5.12	0.07	9.25	0.06	0.28	-0.04
	前後軸	19.54±4.77	15.35±6.78	4.19*	11.29	0.36	0.34	-0.14
	距離	33.49±4.52	33.22±2.64	0.27**	10.61	0.11	0.23	0.09
肘・頭距離	水平軸	17.52±4.11	13.61±6.15	3.91	11.88	0.41	0.51	-0.21
	垂直軸	32.62±5.29	37.99±5.09	5.37**	7.17	-0.45	-0.48	0.17
	前後軸	55.10±3.59	46.18±7.69	8.92**	7.57	0.89	0.85	-0.50
	距離	66.68±4.12	61.96±7.13	4.72	6.34	0.46	0.45	-0.42
手・肩距離	水平軸	-9.11±4.21	-13.40±8.27	4.29	12.02	0.31	0.26	-0.22
	垂直軸	68.31±5.69	70.01±8.55	1.70	12.88	0.06	0.02	-0.14
	前後軸	45.29±7.83	28.20±11.95	17.09**	14.54	0.88	0.81	-0.51
	距離	82.83±6.87	77.64±11.11	5.19	15.68	0.32	0.22	-0.30
**p<0.05, **p<0.01								

\*p<0.05, \*\*p<0.01

## 2. 健常者と脳卒中患者の差

健常者と脳卒中患者に有意差を認めたのは、肘・肩距離(水平軸：p<0.01)、肘・肩距離(前後軸：p<0.01)、手・肩距離(垂直軸：p<0.01)、手・肩距離(前後軸：p<0.01)、手・肩距離(距離：p<0.01)、手・頭距離(水平軸：p<0.01)、手・頭距離(垂直軸：p<0.05)、手・頭距離(前後軸：p<0.01)、手・頭距離(距離：p<0.01)であった。また両者間の平均値の差が全被検者の MDC 値より大きなものは、手・肩距離(前後軸)、手・頭距離(前後軸)であった(表 3・1)。

## 3. 軽度麻痺と重度麻痺の差

軽度麻痺と重度麻痺で有意な差を認めたものは、肘・肩距離(水平軸：p<0.01)、肘・肩距離(前後軸：p<0.05)、肘・肩距離(距離：p<0.01)、手・肩距離(垂直軸：p<0.01)、手・肩距離(前後軸：p<0.01)、手・頭距離(前後軸：p<0.01)で

## 考 察

### 1. 脳卒中におけるリーチ動作の特徴

脳卒中中の運動麻痺は、随意性の低下のみでなく共同運動の影響を受ける。上肢麻痺では特に屈筋共同運動の影響を強く受け<sup>6)</sup>、その屈筋共同運動はリーチ動作中の肘伸展をより強く阻害することになる。本研究で、手・肩距離(前後軸)および(距離)は肘関節屈伸運動の指標と考えられるが、これらの項目では上肢機能障害(Grade-上肢、Grade-手指)と中等度以上の相関を示し、健常者と脳卒中の間で有意な差が認められた。

図 2 に、手部が、最も前方にある最大前方位値と最も後方にある最大後方位置の、肘・肩距離、手・肩距離、手・頭距離の測定結果(平均値)をもとに、脳卒中と健常者における前後往復動作中の各身体部位座標(水平面および横

断面)を図示する。健常者と脳卒中を比較すると、最大後方位置で、頭部は脳卒中が前方にあるものの、肘部、肩部はほぼ同じ座標に位置していた。肘関節が屈曲位にある最大後方位置では共同運動の影響を強く受けていない。一方、肘関節の伸展が求められる最大前方位置では、健常者に比べ脳卒中では、不十分な肘関節伸展を補うために、肩部、頭部が大きく前方に移動していた。

また最大前方位置の手・肩距離(垂直軸)と肘・肩距離(水平軸)は、健常者と脳卒中の有意な差、上肢機能検査結果との相関、重度グループと軽度グループ間の差が認められた。手・肩距離(垂直軸)は肩部の高さ、肘・肩距離(水平軸)は肩関節の内外転運動の指標となり、脳卒中では健常者に比べ肩部を挙上、肩関節を外転していたことになる。最大前方位置では動作の難易度が高く、屈筋共同運動の影響が出たものと考えられる。

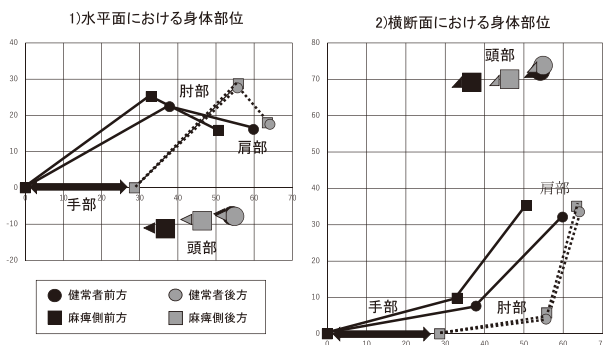


図2. 前後往復動作中の各身体部位座標

## 2. Kinect を用いた身体部位間の距離計測による脳卒中異常性検出の可能性

David ら<sup>7)</sup>は、「Kinect では微細な運動に関しては十分に捉えることができない」と述べている。本研究で、同一動作間でばらつきが少ない健常者の検査—再検査の差の検定においても、手・肩距離(水平軸)、手・頭距離(水平軸)で有意な差が認められ( $p<0.05$ )、また最高で4.74%(メートル法に換算すると3.75cm)のSEMが認められた。簡易なモーションセンサでは、測定誤差を十分に考慮することが必要になる。

しかし健常者と脳卒中中の差、上肢機能検査結果との相関、重度グループと軽度グループ間の差が認められた測定項目のうち、手・肩距離(前後軸)、手・頭距離(前後軸)の2項目は、健常者と脳卒中の平均値間の差が全被験者のMDC値より大きかった。またこれらの2項目は、重度グループと軽度グループ間の差においても脳卒中患者の

MDC値より大きく、手・肩距離(前後軸)、手・頭距離(前後軸)は健常から脳卒中を識別するとともに、上肢機能障害の重症度も検出する指標となりうる。

Mark<sup>8)</sup>によると、健常者が体幹代償を用い始めるのは上肢長の約80~90%であり、またLevin<sup>9)</sup>の研究では健常者に比べ脳卒中患者で代償動作が出現する距離は短いと述べている。本研究では、健常者の最大前方位置における手・肩距離は $70.00 \pm 4.21\%$ になり、その位置で体幹代償が出現せずに、肩関節屈曲や肘関節伸展を十分行なうことが可能であった。一方、脳卒中患者は肘関節伸展などを十分行なうことができず体幹代償が出現したため、平均値の差が顕著となりMDC値を超えたと考えられる。

また最大前方位置の手・肩距離(垂直軸)と肘・肩距離(水平軸)は、平均値の差がMDC値を超えることがなかった。これらの項目は脳卒中患者と健常者間の差が小さく、Kinectの測定誤差の影響を強く受けたものと考えられる。

本研究の結果から、Kinectをはじめとする簡易なモーションセンサを用いても様々な検出が可能なが示唆された。しかし測定結果は身体と課題目標の位置関係に依存するために、今後実用化に向けていくつかの改善が必要になる。まず椅子の位置と課題目標間距離の調整が容易に行え、上肢長測定に関しても、Kinectによる上肢長測定手順、その測定精度を検討する必要がある。また訓練プログラム内容に関しても検出しやすい作業域を探していきたい。

脳卒中の運動障害に対するフィードバック訓練効果は、様々な研究で実証されている<sup>10)</sup>が、上肢訓練に、訓練状況をフィードバックできるシステムを開発し組み込むことは意義があると考えられる。作業療法で多く用いられるサンディング訓練などの机上リーチ動作訓練に応用することもでき、安価で、簡易なシステムの実現は、これらの訓練を様々な場面で行うことを可能とする。

## 結 語

我々はKinectを用いて机上リーチ動作中(前後往復動作)の身体部位間の距離を測定し再検査信頼性を検証した。結果として、手部の最大前方位置における手・肩距離(前後軸)、手・頭距離(前後軸)の2項目は、全被験者(脳卒中患者および健常者)の検査と再検査の比較で有意な

差が認められず(表 2-3), 高い ICC(0.87~0.88 : 表 2-3) が認められた。また脳卒中患者—健常者間の差( $P<0.01$  : 表 3-1), 重度麻痺患者—軽度麻痺患者間の差( $P<0.01$  : 表 3-2), 脳卒中患者における上肢評価結果との相関(0.50~0.69 : 表 3-2) も認められた。そして脳卒中患者—健常者間, 重度—軽度間の差の平均は, それぞれ全被検者および脳卒中患者のみの最小可検変化量(MDC)より大きい(表 3)ことから, 手・肩距離(前後軸)および手・頭距離(前後軸)は健常から脳卒中を識別と上肢機能障害の重症度を検出する指標となる可能性が示唆された。

今後は, 脳卒中特有の運動を評価するシステムとして, 実用化にむけて検討していく。

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。

著者全員に本論文に関連し, 開示すべき COI 状態にある企業, 組織, 団体はいずれもありません。

## 文 献

- 1) Wolf SL, Winstein CJ, Miller JP, et al. Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke : the EXCITE randomized clinical trial. JAMA 1980 ; 296 : 2095-104.
- 2) 石田圭二, 田端晟定, 笠川慎矢ほか. 肘の高さの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—. 福井医療科学雑誌 2015 ; 12 : 27-31.
- 3) 石田圭二, 田端晟定, 笠川慎矢ほか. 机上リーチ動作における運動方向による違いについて—Kinect センサーによる肘部軌道測定を中心に—. 福井県作業療法士会学術誌 2016 ; 3 : 8-12.
- 4) 石田圭二, 古荘純次, 熊谷のぞみほか. Kinect センサーによる机上リーチ動作測定の検査—再検査信頼性・身体部位最大軌道幅による脳卒中リーチ動作の異常性検出—. 実験力学 2017 ; 17(4) : 304-311.
- 5) 下井俊則. 評価の絶対信頼性. 理学療法科学 2011 ; 23(3) : 451-61.
- 6) 福井園彦, 藤田勉, 宮坂元ほか. 脳卒中最前線—急性期の診断からリハビリテーションまで—第 4 版 II・III. 東京 : 医歯薬出版, 2009. 77-90.
- 7) David W, Ozkan C. Systematic review of Kinect applications in Elderly care and stroke rehabilitation. J Neuroeng Rehabil 2014 ; 3(11) : 108-32.
- 8) Mark LS, Nemeth K, Gardner D, et al. Postural dynamics and the preferred critical boundary for visually guided reaching. J Exp Psychol Hum Percept Perform 1997 ; 23(5) : 1365-1379.
- 9) Levin MF, Michaelson SM, Cirstea CM, et al. Use of the trunk for reaching targets placed within and beyond the reach in adult hemiparesis. Exp Brain Res 2002 ; 143(2) : 171-80.
- 10) Israely S, Carmeli E. Error augmentation as a possible technique for improving upper extremity motor performance after a stroke—a systematic review. Top Stroke Rehabil 2016 ; 23(6) : 116-25.