

コード化によるハイハイ動作分析の試み

～運動学習過程検討のために～

岡田千奈・近藤沙都美・三重野志保

要旨

乳幼児の運動発達のうち、移動という主体的な行動であり、臥位から二足歩行への橋渡しの意味を持つと考えられるハイハイ動作に着目した。ハイハイ動作獲得過程において神経細胞集団選択理論に基づき、個体の要因や環境要因の違いが運動のレパートリーに相違をもたらすと推測する。この推測を客観的に検証する方法論として、「ハイハイ動作分析基準」によるコード化を試みている。我々は第四版である分析基準の信頼性について検討した。対象は臨床経験のない理学療法学生 3 名とした。2 名の乳幼児のハイハイ動作の動画をコード化し、そのデータを元に検査者間と検査者内の一貫性を求めた。その結果、検査者間比較では一貫性の高い項目が少なかったが、検査者内比較では全項目において一貫性が高く再現性があると言える。分析基準や撮影方法を見直し、検査者間の一貫性を高め、信頼性の足る基準となった後は、実際に運動レパートリーの変化を追っていきたい。

はじめに

正常運動発達における四つ這いは、支持器官としての足の発達、そして手の把握・支持・認識器官としての発達指標である。そのため四つ這いは、単なる移動手段というだけでなく、二足歩行に至るまでの上下肢の発達においても重要な意味をもち、正常運動発達の中で重要であると言われている¹⁾。

乳幼児の運動発達は、従来、McGraw や Gesell が提唱した神経成熟理論に基づいて、中枢神経系の下位階層から上位に向かって成熟が進むことを反映していると説明されてきた。神経成熟理論においては、運動発達を左右するのは遺伝的な要因であり環境要因はあまり重要視されていなかった。しかし、Gibson JJ のアフォーダンス理論や Thelen によるダイナミックシステムズ理論の運動発達への応用などにより、環境要因の重要性が注目されるようになった²⁾。さらに、Edelman により脳内の神経細胞は発達や行動の中で多様なネットワークを作り、必要な構造や機

能を選択的に組織化するという神経細胞集団選択理論が提唱されるに至っている³⁾。これは中枢神経系の成熟が、乳幼児自身の行動やそれによって環境から受ける刺激により変化することを意味し、経験や運動学習により運動発達が変化すること、言い換えれば様々な感覚運動経験により中枢神経系の機能にアプローチできることを示唆している。

以上のような発達理論の変化は、これまで定型発達というパターンで捉えられていた運動発達を多様性という視点で再検討する必要性をもたらしている。我々は運動発達のなかでも移動という主体的な行動であり、臥位から二足歩行への橋渡しの意味を持つと考えられるハイハイ動作（ずり這い、四つ這い、高這いを含む）に着目した。ハイハイ動作の獲得過程を神経細胞集団選択理論から考えると、身長や体重、プロポーション（頭部の大きさ）などの個体の要因に加え、ハイハイ動作獲得以前に経験してきた感覚運動経験やその背景となる環境要因の違いが個体の持つ運動のレパートリーに相違をもたらすと推測す

表 1 大項目と小項目
「ハイハイ動作分析基準(第四版)」

I. ハイハイのパターンに関する項目	III. 体幹の動きに関する項目
-1. ハイハイの種類 -2. 右上肢の使い方(支持期) -3. 左上肢の使い方(支持期) -4. 上肢の動かし方 -5. 上下肢を動かすタイミング	-1. 左上肢を前に出す時の上部体幹の傾き方 -2. 右上肢を前に出す時の上部体幹の傾き方 -3. 左上肢を前に出す時の下部体幹の傾き方 -4. 右上肢を前に出す時の下部体幹の傾き方 -5. 脊柱の伸展 -6. 左下肢を前に出す時の脊柱の側弯 -7. 右下肢を前に出す時の脊柱の側弯
II. 頭部の位置および動きに関する項目	IV. 下肢の使い方に関する項目
-1. 右上肢が床に着いた時の頭の上がり方 -2. 左上肢を前に出す時の頭の傾き方 -3. 左上肢が床に着いた時の頭の上がり方 -4. 右上肢を前に出す時の頭の傾き方 -5. 身体を前進させる時の頭の動き	-1. 左下肢を前に出す時の右下肢の支持の仕方 -2. 右下肢を前に出す時の左下肢の支持の仕方 -3. 左下肢が床に着いた時の膝の位置 -4. 右下肢が床に着いた時の膝の位置 -5. 左足部の使い方 -6. 右足部の使い方

表 2 選択肢の例示
「ハイハイ動作分析基準(第四版)」

I-1. ハイハイの種類	III-1. 左上肢を前に出す時の上部体幹の傾き方
0. コード化できない 1. 腹這い 2. 四つ這い 3. 混在 9. コードに該当するものがない	0. コード化できない 1. 左肩(肩甲帯)が明らかに上がる 2. ほぼ変わらない 3. 左肩(肩甲帯)が明らかに下がる 9. コードに該当するものがない
II-1. 右上肢が床に着いた時の頭の上がり方	IV-1 左下肢を前に出す時の右下肢の支持の仕方
0. コード化できない 1. 頭が垂直かそれ以上上がっている。もしくは視線が水平かそれ以上上を向いている 2. 頭が水平かそれより下がっている。もしくは視線が手元かそれより下肢方向を向いている 3. 1と2の間 9. コードに該当するものがない	0. コード化できない 1. 膝関節で支持する 2. 足部で支持する 3. 大腿部が接地する 4. 下肢が接地しない 9. コードに該当するものがない

る。

ハイハイ動作に関する近年の研究としては、Yang ら⁴⁾による時間因子を指標としたものがあるが、運動の質的な要素については検討されていない。そこで我々は、新たに運動レパートリーの数的変化に注目した。運動レパートリーの分析においては動作分析の手法が主体となるが、より客観的な分析を行うために、我々が所属している鶴崎研究室において、分析基準を明確化しコード化を行うことを模索している。そして、試作段階であるが「ハイハイ動作分析基準」を考案している。現在、この分析基準は改訂を重ね第四版であるが、この分析基準の信頼性について検討

なされていない。そこで、今回我々は「ハイハイ動作分析基準(第四版)」の信頼性について検討することにした。

「ハイハイ動作分析基準(第四版)」について

この基準は、三次元動作解析機のような大掛かりな装置を使用せずに場所を問わず乳幼児の自然なハイハイ動作を分析できるように、また保育士や保護者などの動作分析についての専門的な知識がない者でも扱えるようにというコンセプトのもと考案された。

コード化する項目は下記の大項目 I～IV、小項目計 23 項目からなる。

- I. ハイハイのパターンに関する項目
- II. 頭部の位置および動きに関する項目
- III. 体幹の動きに関する項目
- IV. 下肢の使い方に関する項目

各小項目に 5~8 個の選択肢を設定し、その中から検査者が判断したものを選択しコード化を行うものとする。選択肢の中には、動画の角度等により観察ができないためにコード化できない場合に選択する「0. コード化できない」、基準の中に適切な選択肢がない場合に選択する「9. コードに該当するものがない」を各小項目すべてにおいて含んでいる。

対象と方法

1. 対象

臨床経験のない理学療法学を学んでいる学生 3 名 (年齢 22.3±0.7 歳) を対象 (検査者) とした。

2. 撮影方法

長崎市内の私立保育園 (1 か所) を利用している神経学的・整形外科的に問題がないとみられる乳幼児 2 名 (月齢 7~13 か月) のハイハイ動作を、デジタルムービーカメラ (Panasonic HX-WA20) 2 台を用い撮影した。事前に本研究に関する説明を行い、保護者より同意の得られたものを撮影した。撮影は前後二方向から行い、可能な限り前後左右が映るようにした。撮影環境は同保育園の施設内で行い、板張りまたは畳上であった。撮影は撮影者 2 名、玩具等で乳幼児の移動を促す者 1 名の計 3 名で行った。乳幼児によってハイハイに対する動機付けが異なるため、時間や距離に関する条件付けは行わなかった。乳幼児が拒否の反応を示した場合には撮影を中止した。撮影は週 2 回、各 1 時間程度にて行い、撮影期間は 2013 年 10 月~2014 年 1 月までの約 4 か月であった。

なお、撮影された動画には再生速度を 1/4 倍速に変更する・サイクル表示を加えるという 2 つの編集を加えた。サイクル表示は、右手 (もしくは

左手) が床に着いてから一旦離れ、再び右手 (もしくは左手) が床につくまでとしている。また、乳幼児のうち 1 人 (case1) は四つ這い初期から独歩前までの四つ這いの動画であり、他の 1 人 (case2) はずり這いから四つ這いへの移行期の動画であった。

3. コード化に関する方法

まず、事前に「ハイハイ動作分析基準 (第四版)」を用い、乳幼児 3 名のトレーニング用動画 (10 サイクル・12 サイクル・4 サイクルの 3 動画) のコード化を行い、検査者 3 名が回答のすり合わせを行った上で実際のコード化を行った。コード化は、1 サイクルごとに動画を観察し各小項目について検査者が最も適した選択肢を選んでいる。実際のコード化は編集の加えられた動画を「ハイハイ動作分析基準 (第四版)」を用いて、検査者 3 名がそれぞれ 3 回ずつコード化した。3 回ずつのコード化は各 1 週間以上の間隔を空けて行った。コード化した動画は、case1 が 13 日分・144 サイクル、case2 が 5 日分・61 サイクルであった。

4. 分析方法

検査者 3 名が各 3 回ずつコード化したデータ一覧において、Cohen の κ 係数を用いて検査者間と検査者内での一致度を分析した。Cohen の κ 係数では、二者間での一致度しか見ることができないため、二者間での一致度を求めた上で κ 係数の平均を求めることで、検査者間と検査者内での一致度をみた。なお、検査者間・検査者内での一致度は case1・case2 のそれぞれ小項目 (計 23 項目) ごとに求め、小項目別の信頼性について検討した。本研究は、長崎大学医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て行っている (承認番号 13071126)。

表3 検査者間比較における一致度

見かけ上の一一致率は0.8以上に色づけ、 κ 係数は0.6以上で色づけ

検査者間		case1		case2	
		見かけ上の一一致率	κ	見かけ上の一一致率	κ
ハイハイのパターン (上肢の使い方)	I-1	1.00	1.00	0.93	0.86
	I-2	1.00	1.00	1.00	1.00
	I-3	1.00	1.00	1.00	1.00
	I-4	0.99	0.22	0.96	0.33
	I-5	0.80	0.27	0.47	0.03
頭部の位置および動き	II-1	0.86	0.18	0.84	0.18
	II-2	0.91	0.03	0.67	0.44
	II-3	0.86	0.16	0.88	0.11
	II-4	0.90	0.54	0.77	0.54
	II-5	1.00	0.56	0.89	0.33
体幹の動き	III-1	0.95	0.39	0.54	0.23
	III-2	0.93	0.05	0.69	0.44
	III-3	0.66	0.25	0.44	0.06
	III-4	0.70	0.25	0.68	0.17
	III-5	0.46	0.18	0.34	0.01
	III-6	0.45	0.11	0.18	0.07
	III-7	0.38	0.09	0.28	0.20
下肢の使い方	IV-1	0.98	0.81	0.86	0.77
	IV-2	0.99	0.23	0.81	0.75
	IV-3	0.60	0.00	0.33	0.09
	IV-4	0.68	0.00	0.33	0.03
	IV-5	0.94	-0.01	0.70	0.55
	IV-6	0.96	0.36	0.99	0.33

表4 検査者内比較における一致度

見かけ上の一一致率は0.8以上に色づけ、 κ 係数は0.6以上で色づけ

検査者内		case1		case2	
		見かけ上の一一致率	κ	見かけ上の一一致率	κ
ハイハイのパターン (上肢の使い方)	I-1	1.00	1.00	1.00	1.00
	I-2	1.00	1.00	0.99	1.00
	I-3	1.00	1.00	0.91	1.00
	I-4	1.00	0.78	0.89	0.84
	I-5	1.00	0.81	0.93	0.87
頭部の位置および動き	II-1	0.86	0.77	0.94	0.77
	II-2	0.98	0.63	0.95	0.88
	II-3	0.96	0.76	0.97	0.69
	II-4	0.98	0.91	0.96	0.91
	II-5	1.00	0.78	0.97	0.93
体幹の動き	III-1	0.96	0.83	0.88	0.92
	III-2	0.98	0.76	0.92	0.94
	III-3	0.98	0.89	0.98	0.76
	III-4	0.99	0.95	0.92	0.81
	III-5	0.95	0.81	0.94	0.91
	III-6	0.84	0.74	0.95	0.85
	III-7	0.85	0.77	0.95	0.90
下肢の使い方	IV-1	0.94	0.94	0.94	0.91
	IV-2	0.99	0.94	0.96	0.89
	IV-3	0.88	0.68	0.98	0.89
	IV-4	0.89	0.79	1.00	0.94
	IV-5	1.00	0.72	0.98	0.96
	IV-6	1.00	0.93	1.00	1.00

結果

κ 係数は 0.6 以上で一致度が高いとされている。見かけ上の一致率は κ 係数を求める過程で算出される値であるが、今回 κ 係数は低いが見かけ上の一致率は高いという矛盾が生じたため、見かけ上の一致率と κ 係数との 2 つの指標を用いて信頼性について検討している。

- ・一致度が高い: 見かけ上の一致率 0.8 以上かつ κ 係数 0.6 以上
- ・一致度が低い: 見かけ上の一致率 0.8 未満かつ κ 係数 0.6 未満
- ・一致度が高いとも低いとも言えない: 見かけ上の一致率 0.8 以上かつ κ 係数 0.6 未満

1. 検査者間比較における一致度

表 3 より一致度が高い項目は、case1 では 4/23 項目、case2 では 5/23 項目であった。一致度が低い項目は、case1 が 7/23 項目、case2 が 13/23 項目であった。case1・case2 に共通して一致度が低かった項目は、大項目の III (体幹の動きに関する項目)、大項目 IV の下肢の使い方に関する項目中の IV-3 (左下肢が床に着いた時の膝の位置)、IV-4 (右下肢が床に着いた時の膝の位置) である。また、一致度が高いとも低いとも言えない項目は、case1 では 13/23 項目、case2 では 7/23 項目であった。

case1 が case2 より一致度が高い項目が多く、一致度が低い項目が少ないという結果となった。

2. 検査者内における一致度

表 4 より検査者内においては、case1・case2 ともに全ての項目において一致度が高いことがわかる。表 4 に示す通り、case1・case2 ともに全ての項目における一致率は高値となった。

考察

1. 検査者間比較における一致度について

今回一致度が高いと判断された項目は、case1・case2 ともに 4・5 項目と少ない結果となった。一致度が低いと判断された原因として、検査者各々で判断基準が異なったことや動画の撮影角度により判断が困難であったことが挙げられる。

事前にトレーニング用動画のコード化を行い、検査者 3 名の回答をすり合わせるという段階を経て実際のコード化を行ったが、検査者間の判断基準にずれが生じた。また、前述したように分析基準のコンセプトとして、より簡便であること、乳幼児の自然な動きを観察することを重要視したために撮影角度や着衣等により判断が困難な場合があった。

大項目の III (体幹の動きに関する項目) の一致度が低かった原因として、動画の撮影角度や乳幼児の着衣により判断が困難であったことに加えて、体幹の動きの観察が他の項目に比べ難しかったことが挙げられる。大項目 IV-3・IV-4 に関しては、動画の撮影角度による判断の困難さから「0. コード化できない」がつけられることが多くあった。しかし、検査者 3 人の間で「0」のつけ方が異なったことが一致度が低くなった原因だと考えられる。この場合の解決策として、「0」をつけるか否かの判断が一致するように選択肢や撮影方法の見直しを行うことが挙げられる。

また、 κ 係数は低いが見かけ上の一致率は高いという矛盾が生じた。その原因として、 κ 係数の公式上一致度が高いと思われる場合も偶然とみなされる場合があったことが挙げられる。データ一覧からは一致度が比較的高いと思われる項目においても κ 係数では偶然とみなされることがあった。この場合は、見かけ上の一致率は高いが、 κ 係数は低いという項目において見受けられ、case1 では 12/23 項目、case2 では 5/23 項目あった。case1・case2 どちらにおいても二者間で一致したコードが選択されているが、全サイクル中における一致したコードの種類が 1 つに偏ったことにより生じたと考える。今後、分析するデータ数(サイクル数)を増やすことで、選択されるコードの種類の変りが分散され、この問題は解決されると予測する。今後も κ 係数を用いて一致度をみる点に関しては問題がないと考える。

2. 検査者内における一致度について

検査者内における一致度は case1・case2 いずれの項目においても一致度が高く、検査者間の判断基準は異なったものも、検査者個人では判断基準がほぼ一定していると考えられる。故に、「ハイハイ動作分析基準(第四版)」は再現性の

ある基準であると言える。今後、検査者間での一致度を高めるために「ハイハイ動作分析基準」はさらに改訂されると考えられるので、改訂された場合においても再現性が失われないように適宜検査者内での一致度もみる必要があると考える。

3. 本研究を通して

ハイハイ動作における運動レパートリーの分析を行う目的で考案された「ハイハイ動作分析基準(第四版)」の信頼性について検討を行ったが、検査者間比較では一致度の低い項目が多く、実際にハイハイ動作分析に用いるには十分に信頼の足る基準とは言えない。しかし、検査者内比較での一致度は case1・case2 共に全項目において高かったことから、検査者個人内の再現性はあると考えられる。検査者間比較での一致度が低い項目の表現を再考することや、トレーニング用動画の内容を検討することで、今後検査者内比較同様に検査者間比較の一致度も向上すると考えられる。なお、本研究では臨床経験のない理学療法学生 3 名が対象であったが、臨床経験のある理学療法士を対象とした場合には検査者間の一致度が向上するのか、また、経験年数により一致度に差がみられるのかについても今後調査したい。経験年数によって差がみられるようであれば、トレーニング方法についても再度、検討する必要があると考えられる。

本研究の限界として、乳幼児の自然な動作を観察することを目的としたため、撮影方法の細かな規定を行わなかったが、撮影角度により判断困難な場面があったため、今後撮影方法の見直しを行う必要がある。また、大項目Ⅲ(体幹の動きに関する項目)に関しては、動作分析だけでは判断が困難なため、加速度計などの持ち運び可能で乳幼児の自然な動きを制限しないような機器を取り入れることで、今後より質の高い研究へとつなげていきたい。

まとめ

今回、鶴崎研究室で考案されている「ハイハイ動作分析基準(第四版)」の信頼性について検討した。その結果、この基準は再現性があると言

えるが、検査者間の一致度に関しては再考する必要がある。今後は、分析基準や撮影方法の見直しを行い分析基準の信頼性を高めていきたいと考える。また、信頼性のある分析基準のとなった後は、先に述べたようにハイハイ動作における運動レパートリーを明らかにしていきたい。

謝辞

本研究にご協力頂いた保育園の職員の方々、母子の皆様には厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中嶋信太郎, 牟禮努, 他: 四つ這いについて. 理学療法学. 1987; 14: 399-404.
- 2) 山本尚樹: 運動発達研究の理論的基礎と課題: Gesell, McGraw, Thelen, 三者の比較検討から. 発達心理学研究. 2014; 25: 183-198.
- 3) Sporns O, Edelman GM: Solving Bernstein's problem: a proposal for the development of coordinated movement by selection. Child development. 1993; 64: 960-981.
- 4) Yang JF, Patrick SK, et al.: Developmental constraints of quadrupedal coordination across crawling styles in human infants. J Neurophysiol. 2012; 107: 3050-3061.

(指導教員 鶴崎 俊哉)