

ハイハイ動作分析基準における項目数削減の検討

市川夏・川添謙弥・坂井美空

要旨

本研究は、運動発達を神経細胞群選択説 (NGST) で説明する例として、ハイハイ動作の変化過程に注目し、ハイハイ動作の記録のために考案された、「ハイハイ動作分析基準(第 6 版)」について、その動作項目の削減を検討する目的で行われた。発達の「正常」ぐんと「疑わしい」群のハイハイバリエーション累積総数に有意な差があるという先行研究を元に、21 名の乳幼児のデータを 1 動作項目もしくは対になる 2 動作項目を削除したコードを使用し、先行研究と同様に 2 群に有意な差が認められるかを検討した。その結果、乳幼児期のハイハイ動作の経験を通じた運動学習とその後の発達を評価するためには、頭部一体幹における動作項目が必須であることが示唆された。今後は、より簡便なスクリーニングツールとして、専門的な知識や技術を持たない職種においても使用できるような検討が必要と思われる。

1. はじめに

ヒトの発達は中枢神経系の変化を背景としているが、中枢神経系の発達は遺伝的要因を重視した神経成熟理論から、環境とのやりとりのなかで多様なネットワークを構築していくという神経細胞群選択説 (Neuronal Group Selection Theory ; 以下,NGST) がヒトの運動発達を理解するために使用されることが多くなっている¹⁻³⁾。

NGST によると定型的な運動発達には Repertory(個体がもつ内在的な動きの種類)、Variability(状況に最も適した動きを repertory から選択する能力)、Variation(運動の結果として観察される動きの種類)という要素が含まれている。乳幼児は様々な動作を獲得するにあたって、まず多彩な Variation をもち、動作を重ねるごとに Variability が発達しその目的に対して適切な動きを選択し、Variation を減少させる。このような変化を繰り返すことで動作を効率化が不必要な神経回路の刈り込みや強化によって起こり、より高度な運動や思考が可能となる。

神経発達学によると、乳幼児は出生後早期にすべての脳領域で神経回路が爆発的に発達し⁴⁾、生後 1 か月の乳児はすでに自発運動や動

揺に対する反応行動の中で感覚情報をもとに姿勢のコントロールをしている⁵⁾。また、感覚運動経験によって蓄積された運動スキルが新しい動作を学習する過程で効率的に利用される⁶⁾。

我々の研究室では、運動発達を NGST で説明する具体的な例として、ハイハイ動作のへんか過程に注目した研究を行っている。この研究は当初、ハイハイから歩行獲得に至る過程のパターンを探求する目的で実施されたが、この過程が多様性に富むためパターン化が困難とされた。そこで、多様なハイハイ動作を記録する手段として、「ハイハイ動作分析基準」を考案し、改良を重ねて現在は第 6 版に至っている⁷⁾(表 1)。この分析基準は、三次元動作分析解析機のような大掛かりな装置を使用せず、場所を問わず乳幼児の自然なハイハイ動作を分析でき、保育士や保護者などの動作分析について専門的な知識が無いものでも扱えるというコンセプトの元に考案された。ハイハイ動作は、ハイハイ 1 サイクルにおける頭部や体幹などの各身体の動きを大項目 I~IV、小項目計 24 項目でコード化され(表 1)、記録することができる。この記録されたコードを用いた先行研究では、定型発達群と発達

に遅れの疑いのある群のハイハイのバリエーション累積総数に有意な差があり、ハイハイの Variability とその後の発達との関連が示唆されている⁸⁾。

表 1. ハイハイ動作分析基準(第 6 版)

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

II-1. 右上肢を前に出す時(左上肢で支持している時)の頭の傾き方
0. コード化できない
1. 頭をほぼ垂直に保っている
2. 頭が左に傾く
3. 頭が右に傾く
8. 右上肢の動きが確認できない、または 1-4 が「3」「4」の時
9. コードに該当するものがない

ハイハイ動作分析基準(第6版)

211121131312222233221122

上肢(6) 頭部(5) 体幹(7) 下肢(6)

上記の数字をつなぎ合わせて1つのバリエーションとする

図 1. コード化の方法

しかし、この「ハイハイ動作分析基準(第6版)」

は 24 項目と多くの動作を分析する必要があり、時間・手間・専門的知識が求められる。臨床の場で使用するためには、より簡略化された動作分析基準が求められると考え、今回は動作項目数の削減が可能かを検討することも目的として研究を行った。

2. 対象と方法

本研究の分析対象は本研究室により 2015 年から 2020 年までに撮影されたハイハイ動作をコード化したデータであった。このデータは、ハイハイ動作に関する研究に参加した 42 名の乳幼児のうちハイハイをしない Shuffling Baby (n=2) やデータ不足、保育所の退所などによりハイハイの評価もしくは発達評価を実施できなかった対象を除外した 21 名の乳幼児のものであった。撮影は研究に協力を得られた保育所内もしくは当研究室にて 1~2 週間の間隔で行い、乳児がハイハイを始めてから独立歩行ができるようになるまで継続されていた(のべ 262 回目撮影)。

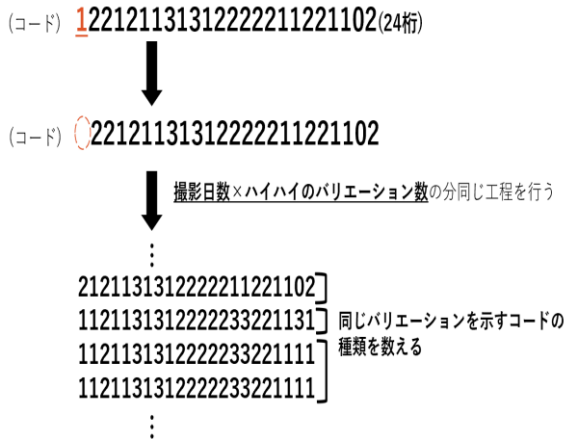
また、対象の乳幼児が 2 歳以上になった時に DENVERII (日本語版 DENVERII) を用いて発達評価を行い、「正常」または「疑わしい」のどちらかの結果を割り当てている。先行研究では、この「正常」群と「疑わしい」群のハイハイのバリエーション累積総数に有意な差があり、本研究では動作項目を示す項目のうち 1 つを消去した場合に先行研究と同様の結果が得られるか検証した。この検証方法を選択した理由は分析対象となるコードには数字が割り当てられているが、これは動作を記録するための名義尺度であり、バリエーション累積総数を求めるには手作業でコードを削除する必要があった。

さらに、動作分析基準の中で「I-2; 右上肢の使い方」「I-3; 左上肢の使い方」などの動作項目の内容が左右でのみ違っている動作項目を「左右で対となっている動作項目」として、9 ペアを削除対象とした。

上記の条件で、動作項目を削除し、1 桁ないしは 2 桁少ないコードを作成し、バリエーション累積総数を求めた(図 2)。これらの処理を 21 名分実施し、「正常」群と「疑わしい」群の 2 群間に有意な差があるか検証した。一連の処理を全動

作項目にて実施し、先行研究と同様の結果が得られるかを検証した。

図 2.コード化されたデータの処理方法



3. 統計処理

データ解析には、統計解析ソフト JMP Pro 17(SAS Institute Japan 製)を使用した。ハイハイのバージョン累積総数の 2 群間比較については、対応のない t 検定を使用し解析した。なお、統計的有意水準は $p < 0.05$ とした。

4. 結果

表2の「ハイハイ動作分析基準(第6版)」に含まれる 24 項目を示すコードのうち1つを消去した場合には、以下の 2 項目で 2 群間に差が認められなかった。

- ① II-1; 右上肢を前に出す時(左上肢で支持している時)の頭の傾き方
- ② III-5; 脊柱の伸展

表3の左右で対になっている動作項目を2つ同時に消去した場合には、以下の 6 組で 2 群間に差が認められなかった。

- ① I-2; 右上肢の支持の仕方(左上肢を前に出すとき
I-3; 左上肢の支持の仕方(右上肢を前に出すとき
- ② II-1; 右上肢を前に出すとき
(左上肢で支持しているとき)の頭の傾き方
II-3; 左上肢を前に出すとき

- (右上肢で支持しているとき)の頭の傾き方
- ③ II-2; 右上肢が床についた時の頭の上がり方
II-4; 左上肢が床についた時の頭の上がり方
- ④ III-1; 右上肢を前に出すとき
(左上肢で支持しているとき)上部体幹の傾き方
III-2; 左上肢を前に出すとき
(右上肢で支持しているとき)上部体幹の傾き方
- ⑤ III-3; 右上肢を前に出すとき
(左上肢で支持しているとき)下部体幹の傾き方
III-4; 左上肢を前に出すとき
(右上肢で支持しているとき)下部体幹の傾き方
- ⑥ III-6; 右上肢を前に出すとき
(左下肢で支持しているとき)脊柱の側弯
III-7; 左上肢を前に出すとき
(右下肢で支持しているとき)脊柱の側弯

5. 考察

コードを 1 つ削除した際に優位水準を満たさない動作項目は「II-1; 右上肢を前に出す時(左上肢で支持している時)の頭の傾き方」, 「III-5; 脊柱の伸展」であり、具体的な動作はそれぞれ「頭部をほぼ垂直に保っている」、「頭が左に傾く」、「頭が右に傾く」、「背中が明らかに曲がっている」であった。また、コードを 2 つ削除した際に優位水準を満たさない項目の例として「II-1; 右上肢を前に出すとき(左上肢で支持しているとき)の頭の傾き方, II-3; 左上肢を前に出すとき(右上肢で支持しているとき)の頭の傾き方」があり、具体的な動作は「頭をほぼ垂直に保っている」「頭が左に傾く」「頭が右に傾く」であった。そのほかの項目に関しても頭部や体幹の動きが評価項目となっており、ハイハイ動作の経験を通した運動学習とその後の発達を評価するためには、頭部体幹における動作項目が必須であることが明らかになった。

表2. 一項目ずつ消去際の結果

削除項目	正常 (n=16)	疑わしい (n=5)	比較
	Mean(SD)	Mean(SD)	p-value
I-2	42.625	28.000	0.0288
I-3	41.500	28.000	0.0440
I-4	43.125	28.000	0.0275
I-5	43.000	28.000	0.0277
I-6	42.250	28.000	0.0488
II-1	40.4375	27.800	0.0580
II-2	42.2500	27.400	0.0306
II-3	42.000	28.000	0.0291
II-4	42.6875	27.800	0.0315
II-5	41.875	27.600	0.0267
III-1	40.375	26.600	0.0435
III-2	40.250	27.200	0.0379
III-3	41.625	26.800	0.0306
III-4	41.625	26.200	0.0263
III-5	39.6875	33.600	0.3351
III-6	40.3125	26.800	0.0425
III-7	40.5625	26.400	0.0358
IV-1	42.500	27.600	0.0258
IV-2	42.9375	27.000	0.0203
IV-3	42.5625	27.400	0.0231
IV-4	42.375	27.800	0.0308
IV-5	40.8125	26.200	0.0303
IV-6	39.8125	26.800	0.0480

表3. 2項目ずつ消去した際の結果

削除項目	正常(n=16)	疑わしい (n=5)	比較
	Mean(SD)	Mean(SD)	p-value
I-2,I-3	37.4375	36.800	0.9237
II-1,II-3	36.6125	36.800	0.9985
II-2,II-4	35.5625	34.800	0.9120
III-1,III-2	35.5625	34.400	0.8148
III-3,III-4	39.400	35.4375	0.5659
III-6,III-7	38.600	32.625	0.3859
IV-1,IV-2	42.500	27.400	0.0225
IV-3,IV-4	41.8125	26.800	0.0225
IV-5,IV-6	26.500	23.400	0.0481

その理由について検討するにあたり、まず定型発達児の出生からハイハイ動作獲得までの姿勢反射と運動発達の流れを考慮に入れる必要がある。

(出生～生後3か月)

ATNR や TLR の影響を受け、運動は不随意的な原始反射を伴った動きが優位である。生後三か月ごろ、非対称性緊張性頸反射(ATNR)や緊張性迷路反射(TLR)が減衰し頭部の立ち直り反応が発達するにつれて、正中位での頭部コントロール、正中位指向(身体中心線上での四肢の運動)、臥位での抗重力位運動を獲得する。

(生後3～6か月)

ATNR や TLR の影響は次第に消失し、頭部・体幹の立ち直り反応の発達と相まって、対称性姿勢、頭部の安定性(定頸)を獲得する。正中位指向の運動が活発になり、頭・目・手の協調性が発達する。3 か月ごろから前腕支持(on forearm),4 か月ごろから肘支持(on elbows),5 か月ごろから両手での支持(on hands),6 か月ごろピボットブローン(飛行機肢位)が可能となり、体幹筋群の協調的な活動と姿勢コントロールが発達する。

(生後6～9か月)

四つ這い位・座位での平衡反応(傾斜反応)、前・側方の上肢保護伸展反応が成熟し、臥位—側臥位—四つ這い位—座位の様々なパターンと変化に富んだ姿勢で遊ぶようになる。さらに腹臥位では、7 か月ごろから腹這い、8 か月ごろには四つ這い位が可能となる(対称性緊張性頸反射(STNR))が四つ這い位を誘導する。また8 か月ごろになると STNR が次第に消失し、9 か月ごろから交互性の四つ這い移動が可能になり、座位においても9 か月ごろから支持なしでの座位が可能となる¹⁰⁾。

ダイナミックシステム理論や NGST でも述べられているように、乳幼児の運動は環境との要因の中で体の使い方が豊富になればなるほどバリエーションが増える。そうすることによって、そのバリエーションが内在した運動のレパートリーとなり、その場その場での状況に適切な動きを選択することができるように発達していくのである。このような一連の流れにおける基盤を構成しているのが頭部—体幹である。

運動発達における頭部—体幹の役割としては、

多様な運動行動を保障する抗重力性・支持性・運動性などが挙げられ、それによって上肢のリーチ動作や把持機能、下肢の運動性機能を保障する体幹の伸展・回旋(捻じれ)運動と体重移動などが可能となる¹¹⁾。

以上の理由により、本研究において体幹に関する項目を消去した際に発達の「正常」群と「疑わしい」群の2群間に優位な差が認められなくなると考えられる。

本分析基準法を用いて評価した対象児は、もともと神経学的・整形外科的に問題のない乳幼児であった。後の調査で発達に遅れの疑いがある乳児が含まれていることが判明したが、明らかな運動障害や ASD, ADHD などの発達障害を有する児童が対象でないため、これらの児を早期発見するための評価ツールとして用いることは難しいと考えられる。しかし、本分析基準表を用いて評価を行った結果、通常発達児と比較して発達に遅れの疑いがある児童ではバリエーション数が優位に少ないことが明らかになったため発達障害の疑いのある児童に対するスクリーニング検査としての可能性が示唆された。

6. 結語

本研究は、運動発達を神経細胞群選択説(NGST)で説明する例としてハイハイ動作に着目し、ハイハイ動作の記録のために考案された「ハイハイ動作分析基準(第6版)」について、その動作項目数の削減を検討する目的で行われた。先行研究で用いられた同じデータを使用することで、動作項目を削除した際に同じ結果が得られるかどうか検討した。その結果、ハイハイ動作の経験を通じた運動学習とその後の発達を評価するためには、頭部体幹における動作項目が必須であることが明らかになった。

また、本研究の対象児には明確に診断された児童を含まなかったため、今後精神運動発達遅滞などの明確な診断がある児童を含んだ対象において評価を行った際にも同様の結果が現れれば、本分析基準を用いたスクリーニングがより有用性が得られるのではないかと思われる。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導いただきました鶴崎俊哉准教授に厚く御礼申し上げます。

11)星文彦:体幹機能の発達,理学療法—臨床・研究・教育 16: pp2-6,2009

(指導教員 鶴崎俊哉)

8. 参考文献

- 1) De Onis, Mercedes: WHO Motor Development Study: Windows of achievement for six gross motor development milestones, *Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics*, 95(450), 86-95, 2006.
- 2) McEwam, Margaret H., Dihoff, Roberta E., Brosvic, Gary M: Early Infant Crawling Experience is Reflected in Later Motor Skill Development. *Perceptual and Motor Skills*, 72(1), 75-79, 1991.
- 3) Patrick, Susan K., Noah, J. Adam, Yang, Jaynie F.: Developmental constraints of quadrupedal coordination across crawling styles in human infants, *Journal of Neurophysiology*, 107(11), 3050-3061, 2012.
- 4) Huttenlocher PR, Dabholkar AS: Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *J Comp Neurol*. 1997; 387: 167-178.
- 5) Dusing SC, Theresa A: Commentary on “Differences in Function Among Children With Sensory Processing Disorders, Physical Disabilities, and Typical Development”, *Pediatric Physical Therapy*. 2013; 25: 322.
- 6) Yamamoto S, Yonghi L, et al.: Diversity and regularity in infant crawling with typical development. *J Phys Ther Sci*. 2020; 32: 483-488.
- 7) 寺尾安生, 宇川義一, 他: 皮膚感覚入力と運動野(正常と異常): *臨床神経生理学*. 2000; 28: 209-217.
- 8) Yamamoto S, Yonghi L, et al.: Diversity and regularity in infant crawling with typical development. *J Phys Ther Sci*. 2020; 32: 483-488.
- 9) 鶴崎俊哉, 寺尾瞳: ハイハイ動作分析基準の開発と研究. *理学療法科学*. 2017; 32: 323-383.
- 10) 坂上昇: 発達・運動発達の評価と正常運動発達: シンプル理学療法学シリーズ 小児理学療法学テキスト: 細田多穂(監), 田原弘幸, 大原昌平, 小塚直樹(編), 株式会社 南江堂, pp59-61