

令和元年6月21日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H06595

研究課題名(和文) 乳児の泣きにみる発声-四肢運動間の同期性と自律神経活動との関連

研究課題名(英文) Role of autonomic nervous system on synchronization between vocal behavior and motor action in infant crying

研究代表者

新屋 裕太 (Shinya, Yuta)

東京大学・大学院教育学研究科(教育学部)・特任研究員

研究者番号：20803828

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、3ヶ月齢の健常満期産児において、啼泣前後に自律神経系・運動・発声がどのように共変動するのかを検討した。その結果、1) 自発発声の頻度が増加する一方で、ピッチ(F0)・フォルマント周波数の抑揚や発声間隔の変動が減少する点、2) 自発運動頻度・活動量が増加する一方で、躍度の上昇や両足の協調性の減少が生じる点、3) 1, 2の変化には、自律神経活動の動的変化(心拍数の増加や心拍変動の減少、遠位-近位部温度勾配の増加など)が伴う点が明らかになった。このような発達初期における自律神経活動と発声・運動の共変動は、私たちの言語やコミュニケーションにおける感情表現の基盤となっている可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果から、乳児の啼泣時には情動中枢の活動亢進により、副交感神経系(迷走神経)が抑制され、声帯・声道の緊張が高まることで音響特徴が変化する可能性や、皮質の発声・運動中枢が抑制され、随意的な制御が低下する可能性が示唆された。また、本研究が示した自律神経系と発声・運動間の共変動については、言語やコミュニケーションにおける感情表現の基盤になると考えられ、今後それらの発達の理解を深めるための一助となりうる。

研究成果の概要(英文)：This study investigated how vocalization and limb-movement would change depending on autonomic nervous activity before and after crying in 3 month-old infants. The results showed that, compared to awake states, the frequency of their vocalization significantly increased during fussy/crying, while the variation of fundamental and formant frequency decreased. For limbs-movements, their limb-movements became more jerky and less coordinated although they increased limb movements. Moreover, the changes of motor and voice were associated with the change of autonomic activity including increased heart rate, decreased heart rate variability, and increased distal-proximal temperature gradient. The co-variation of autonomic nervous system and vocal/motor activity in the early development might be based on the development of emotional expression in language and communication.

研究分野：発達科学

キーワード：泣き 乳児 自律神経系 発声 運動 心拍変動 音響解析

1 . 研究開始当初の背景

乳児にとって自発的に泣くこと(啼泣)は、自身の生理状態や欲求を養育者に伝えるための最初期の表現手段である。発達初期の啼泣は、主に医学の分野で、周産期の合併症との関連や、痛みの度合いを評価する文脈において研究が進められてきた(Wasz-Höckert et al., 1985; Soltis, 2004)。そのため、啼泣に関する先行研究の大半は、注射等の侵襲刺激によって生じる啼泣のみを対象とし、発達初期の自発的な啼泣の特徴に関する個人差や、その神経生理学的メカニズムについては、ほとんど検討されてこなかった。

こうした背景を踏まえ、研究代表者はこれまでに、発達初期の自発的な啼泣に関する研究を、通常より未熟な状態で出生する早産児と満期産児を対象に進めてきた。その結果、より早期に出生した児ほど、新生児期における自発的啼泣の基本周波数(F0,ピッチ)が高いことや(Shinya, Kawai, Niwa, & Myowa-Yamakoshi, 2014)、早産児の高いF0は静睡眠時の呼吸性の心拍変動(Respiratory sinus arrhythmia [RSA])の低さと関連すること(Shinya et al., 2016)が明らかになった。特に、RSAは迷走神経(主要な副交感神経)の活動を反映するが、迷走神経は心臓だけでなく、喉頭筋の緊張緩和にも関与することから、発達初期の自発的啼泣のF0は、迷走神経による声帯緊張制御の影響を受ける可能性が示唆されている。さらに、同時期の自発的啼泣のメロディー(F0の時間的変動)の特性を評価し、乳児期の言語発達との関連を検討したところ、新生児期に、自発的啼泣のメロディーの個人内変動が大きい児ほど、18ヶ月児時点の表出語彙の数が多いことがわかった(新屋ら, 2017 [学会発表]; Shinya et al., 2017 [論文])。この結果は、自発的な啼泣の発声のメロディーやリズムの変動性にも、重要な神経生理学的な個人差が反映される可能性を示唆している。

一方で、発達初期の啼泣に関する研究には、未だ多くの課題が残されている。1点目は、先行研究の大半が発声のみを対象とし、啼泣時の四肢運動に関しては記述していない点である。発達初期の四肢の自発運動は、皮質下の脳幹・脊髄の中枢パターン生成器(CPG)によって駆動されるが、大脳皮質の発達に伴い、その運動パターンは複雑化・流暢化し、生後半年頃までには、随意的な運動が支配的になると考えられている(Einspieler et al., 2016)。ヒトの啼泣や発声に関しても、ある程度同様のメカニズムが存在することが動物研究から推測されており(Newman, 2007; Holstage & Subramanian, 2015)、特に、皮質下のCPGなどのメカニズムが支配的な発達初期においては、発声-四肢運動間の同期現象が生じる可能性が高いと考えられる(江尻・正高, 1999)。2点目は、啼泣の特徴と神経生理学的個人差との静的な関連については多く報告されてきたが、啼泣時の自律神経活動との動的な関連性の報告がない点である。啼泣時には、交感神経活動の亢進が進み、皮質下のCPGに対する皮質の影響が抑制されると推測されるが、それに伴い、啼泣時の発声・身体運動は単調化し、同期・同調が生じやすくなる可能性が考えられる。さらに、こうした自律神経活動との動的な関連性が、発達によってどう変化するかという視点も、乳児の発声・身体運動の発達や、言語獲得の過程を理解する上で重要だと考えられる。

2 . 研究の目的

本研究では、研究代表者の先行研究を進展させ、乳児期初期の児を対象に、啼泣時の自律神経活動の動的な変化を測定し、その際の発声・四肢運動の特徴および、発声-運動間同調との関連性を検討する。こうした検討により、発達初期の発声・運動のリズム生成や、情動の制御に関わる神経生理学的メカニズムに関する新たな知見に繋がることが期待される。

具体的には、乳児期初期の児を対象に、実験室環境下で、安静時から啼泣時にかけての自律神経活動の変動を複数の指標(心拍、近位-遠位体温、顔表面温度)により評価し、以下の点との関連性を調べる。

乳児の状態：ビデオ記録から乳児の状態を評価し、交感神経活動の亢進・副交感神経活動の抑制が、安静状態から啼泣状態への移行や、啼泣の強度を予測するかを調査する。

発声の特徴：音声記録から発声の音響特徴を評価し、交感神経活動の亢進・副交感神経活動の抑制が、発声のメロディーやリズムの複雑さと関連するかを調査する。

四肢運動の物理的特徴：加速度センサにより四肢の運動特徴を評価し、交感神経活動の亢進・副交感神経活動の抑制が、四肢運動の複雑さと関連するかどうかを調査する。

発声-運動間の同期性：発声・運動の時系列データから、コヒーレンス解析により共変性の度合いを評価し、交感神経活動の亢進・副交感神経活動の抑制が、発声-運動間の同期性の高さに関連するかを調査する。

3 . 研究の方法

本研究では、東京都文京区役所を通してリクルートされた乳児期初期の健常満期産児(3-4ヶ月児)約70名を対象に、東京大学大学院教育学研究科 発達脳科学研究室(多賀徹太郎教授)において下記の調査を実施した。

[調査の手続き]参加児に計測機器を装着後、覚醒状態(安静時)の乳児をベビーマット上(70×120cm)に仰向けに寝かし、自律神経活動および発声、行動状態・四肢運動の計測を開始する。その後、自然発生的に啼泣が生じるのを待ち、啼泣開始後2分間まで計測を行う。20分間経過後も啼泣が生じない場合は、その時点で計測を終了する。なお、社会的影響を最小にするため、

計測中、児の養育者は乳児の視野外に待機する。

[生理データの解析] 心拍変動：心電図のデータは、無線式胸部電極（日本光電社、WEB-1000）により取得した。心拍間隔の時系列データから、低周波成分（LF成分、血圧変動）と高周波成分（HF成分、呼吸変動）のパワーを算出し、LF成分とHF成分の比率を交感神経活動の指標、HF成分を副交感神経活動の指標とした（Task Force, 1996）。遠位・近位皮膚温：小型のセンサ（グラム社、LT-8）を鎖骨上および足甲上に設置し、遠位および近位の皮膚音、また遠位-近位部温度勾配（DPG）を算出した。顔面皮膚温度：時系列データを、乳児の頭上に固定した赤外線サーモグラフィカメラ（FLIR社、T400）により取得した。

[運動データの解析] 無線式の加速度センサ（日本光電社、WEB-1000）を両足に装着し、時系列データを取得した。加速度データから活動量、運動頻度、躍度、両足の相関関係を算出した。

[発声データの解析] 各発声の音響特徴として、一啼泣あたりの振幅、持続時間、基本周波数（F0）、フォルマント周波数（F1、F2）、メロディーの複雑性（複数のピークを含む割合；Wermke & Mende, 2009）を評価する。発声パターンの特徴として、メロディーおよび発声-無声リズムの時系列データを算出し、その周期的な変動性を評価した。



図1. 調査の様子および計測機器の装着図

4. 研究成果

(1) 乳児の行動状態と自律神経活動との関連

3-4ヶ月児が非啼泣状態から啼泣状態に遷移する過程において、心拍数の増加と心拍変動の全体的な減少を含む自律神経系活動の動的な変化を示すことが明らかになった。心拍変動の指標のうち、HF成分については非啼泣・啼泣状態間で有意差を認めしたが、交感神経指標であるLF/HF成分については有意差が見られなかった。一般に、啼泣状態への移行には交感神経系の亢進が関与しているとみられるが（Solitis, 2004）、LF/HF成分の有意な増加がみられなかった点については、啼泣状態における自発運動の増加（(2)を参照）が心拍変動（特に、LF成分）に影響したことが原因だと考えられる（Perini & Veicsteinas, 2003）。特に、運動を伴う覚醒時においては、乳児の心拍変動の解釈を慎重に行う必要性が示唆された（Shinya, Watanabe, & Taga, 2018 [学会発表]）。

体温の指標に関しては、遠位（末梢部）皮膚温が低下する一方で、近位（中心部）皮膚音については維持・上昇しており、両者の差分であるDPGが啼泣状態に至る過程で増大した。この結果については、啼泣状態への移行に伴い、末梢部の血管が収縮し、放熱が抑制されたことを反映していると考えられる。乳児は泣くことによって、身体の動きを増加させ、熱を産生させるだけでなく、末梢部からの放熱を抑制することによって、身体深部の体温を維持している可能性が示唆された（新屋 他, 2019 [図書]）。

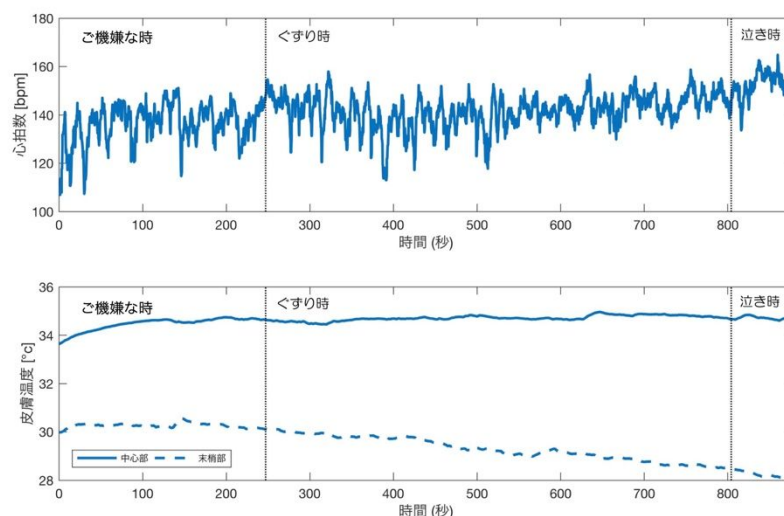


図2. 自律神経活動（心拍数および皮膚温度）の時系列データの例

(2) 自律神経活動と自発運動・自発発声との関連

上述した啼泣状態への移行における自律神経系活動の変化に伴い、自発運動の指標に関しては、運動の頻度および活動量が増加すること、突発的な動きの量(躍度)が上昇すること、両足の協調性が減少すること、の3点が明らかになった。個人差の水準において、啼泣時の心拍数の増加・HF成分の低下が大きい児ほど、上記の自発運動の変化が大きい傾向がみられたことから、自律神経活動と自発運動の間には一定の共変動が生じていることが示唆された(Shinya, Watanabe, & Taga, 2018 [学会発表]; 新屋, 2018 [学会発表])。

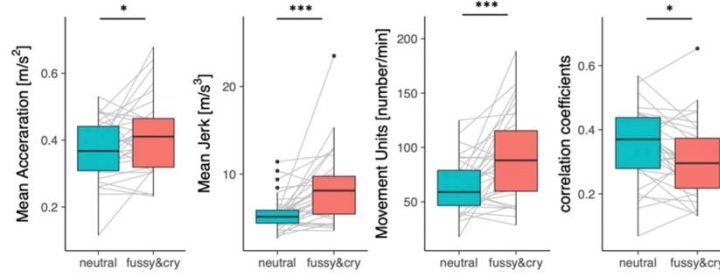


図3. 自発的啼泣時における運動の変化

また、自発発声の指標に関しては、啼泣時において、自発発声の頻度が増加すること、自発発声のピッチ(F0)の最小値が上昇し、メロディー(F0の時間的反動)・フォルマント周波数(F1, F2)の抑揚が減少すること、自発発声間隔の変動が減少することが明らかとなり、このような音響特徴面の変化についても(1)の自律神経活動の変化と共変動を示した(新屋・渡辺・多賀, 2019 [学会発表])。

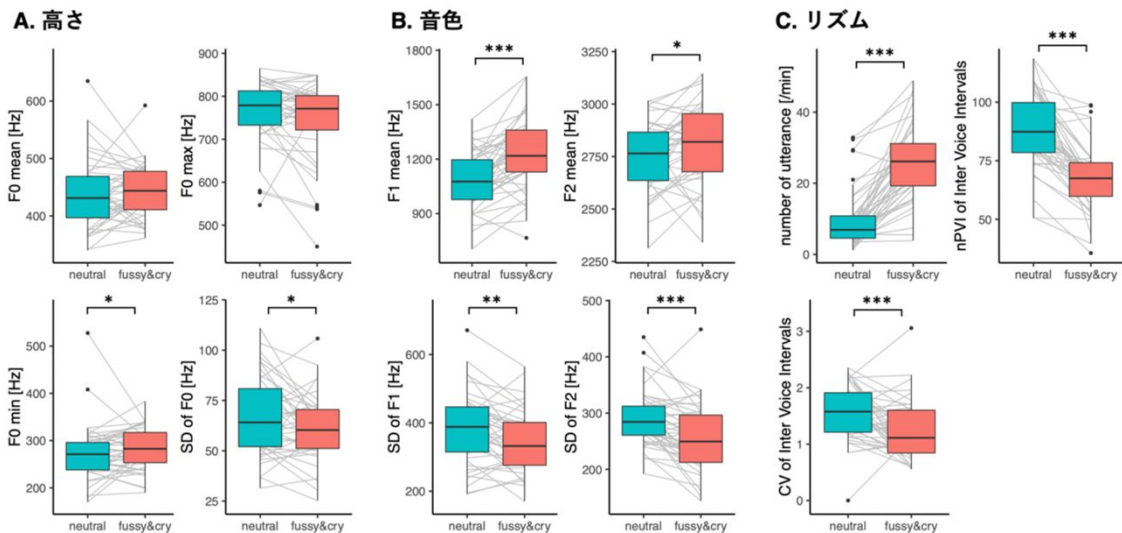


図4. 自発的啼泣時における発声(声の高さ・音色・リズム)の変化

これらの結果から、啼泣時にはストレスによる情動中枢の活動亢進により、交感神経系の亢進と副交感神経系(迷走神経)の抑制が進み、声帯・声道の緊張が高まることで啼泣の音響特徴が変化する可能性や、皮質の運動・発声中枢が抑制され、随意的な制御が低下する可能性が示唆された。それが結果として、自律神経活動と自発発声・自発運動の共変動を生じさせていると考えられる。今後は、上記の結果に各指標の時系列データに関するより詳細な分析を追加した上で、国際誌に論文を投稿する予定である。また、本研究で示した自律神経活動と自発運動・自発発声の共変動については、皮質機能の発達に伴い、抑制や調整が可能になっていくと考えられるが、こうした可能性についても、今後はより幅広い月齢の児を対象に同様の研究課題を行うことで検討を重ねていく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Shinya, Y., Kawai, M., Niwa, F., Imafuku, M., & Myowa, M. (2017). Fundamental frequency variation of neonatal spontaneous crying predicts language acquisition in preterm and term infants. *Frontiers in Psychology*, 8, 711-717. doi:10.3389/fpsyg.2017.02195.

〔学会発表〕(計 4 件)

新屋裕太・河井昌彦・丹羽房子・今福理博・明和政子, 早産児の自発的啼泣のメロディーと乳児期の言語発達に関連, 発達神経科学学会第 6 回学術集会(ポスター発表, P11), 2017 年 11 月 25-26 日, 情報通信研究機構脳情報通信融合研究センター(大阪府吹田市)

Shinya, Y., Watanabe, H., & Taga, G. (2018). Spontaneous Movements and Autonomic Nervous Activity during Crying in 3-month-old Infants. XXI Biennial International Conference on Infant Studies, P1-A-11. (1st, July, Loews Philadelphia, Philadelphia, U.S.A.).

新屋裕太, 赤ちゃんの発達科学, 発達保育実践政策学センター一般公開シンポジウム『豊かな人生を紡ぐ保育～Society5.0 保育から社会を変える～』(口頭発表), 2018 年 8 月 5 日, 東京大学本郷キャンパス(東京都文京区)

新屋裕太・渡辺はま・多賀殿太郎, 3 ヶ月児の啼泣前後の自発的発声と心拍の変動, 日本発達心理学会(ポスター発表, PS1-18), 3 月, 早稲田大学戸山キャンパス(東京都新宿区)

〔図書〕(計 3 件)

新屋裕太・今福理博 他, 東京大学出版会, ベーシック発達心理学(分担執筆: 第 4 章胎児期・周産), 2019, 288(55-76).

新屋裕太 他, 朝倉書店, 乳幼児の発達 食べる・眠る・遊ぶ・繋がる(分担執筆: 第 3 章遊ぶ『泣く』), 2019(in press).

新屋裕太 他, 中央法規, 保育学用語辞典(分担執筆: 胎児期の身体・運動発達, 生活リズムと食・睡眠, 原始反射と身体運動発達), 2019(in press)

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は, 研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため, 研究の実施や研究成果の公表等については, 国の要請等に基づくものではなく, その研究成果に関する見解や責任は, 研究者個人に帰属されます。