

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23390513

研究課題名(和文)ハイブリッドセンシングを用いた乳幼児睡眠のビデオ画像自動評価システムの開発と適用

研究課題名(英文)Developing and analyzing infant night sleep by hybrid-sensing home-monitoring system

研究代表者

江藤 宏美(ET0, Hiromi)

長崎大学・医歯薬学総合研究科(保健学系)・教授

研究者番号：10213555

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文):生活環境下にある、乳児の夜間の睡眠覚醒の特徴を明らかにするための自動分析システムの開発を行い、生後から6か月の睡眠覚醒状態を分析することを目的とした。その結果、画像と活動量を分析対象としたシステムを開発できた。

乳児12人(うち男児7人)のローリスクの対象が得られ、2～25週の5時点の夜間睡眠を縦断的に分析した。特に7週未満と12週以降では睡眠変数のギャップがみられ、睡眠変数の増加と覚醒変数の減少により、12週以降急激な変化と乳児の睡眠の発達を確認できた。また、最長睡眠期は成人と同様に、第一期睡眠期に有意に多かった。睡眠覚醒パターンは12週頃までにほぼ確立することが示唆された。

研究成果の概要(英文):This study aimed to develop a home-monitoring system for recording and auto-analyzing nocturnal infant sleep-wake during co-sleeping, and to describe nocturnal infant sleep at 2 and 25 weeks after birth.

Developed was an image processing and a hybrid-sensing activity counter to monitor twelve low-risk infants. Sleep-wake patterns were analyzed at 2, 4, 7, 12, 25 weeks after birth. Longitudinal data indicated sleep variables increased and wake variables decreased. Sleep development by 12-week. The majority of the longest sleep periods were observed during the first sleep period resembling adult sleep. Adult sleep patterns may appear as early as 12 weeks.

研究分野：母性看護・助産学

キーワード：乳児 睡眠・覚醒 行動分析 自動判定システム 添い寝 Webシステム ハイブリッド 乳幼児突然死症候群

1. 研究開始当初の背景

出生早期の新生児、および乳児の睡眠覚醒については自然な生活環境の中で研究を行っているものが少ない。生後早期から連続した乳幼児の睡眠状況のデータは、収集が非常に困難な状況にある。さらに、この時期の睡眠の質量ともに劇的な変化を遂げていることを考えると、そのデータの集積は、学術的にもたいへん貴重である。よって正常の発達の中での睡眠の変化や発達プロセス、リズムの変化、さらに、疾患との関わりなど、より詳細な多くのデータの集積を必要とし、今後、発展的に研究を進める必要がある領域である。

これまでの乳幼児睡眠の研究動向を見てみると、生活環境下での研究は国際的にみても希少である。主となる研究者たちは、医学・心理学などの領域で、Dr.Mindell(Saint Joseph's University)、Dr.Bruni(University of Rome)、Dr.Horne(Monash Univ.)、Dr.Sadeh(Tel Aviv Univ.)らが挙げられ、小児の睡眠障害や乳幼児突然死症候群(SIDS)についての研究を行っている。

我々はこれまで家庭での周産期の母子の睡眠に注目してきた。日本の乳児をとりまく睡眠環境として、添い寝(bed sharing)あるいは同室寝(co-sleep)の状況が特徴的である。研究を進めてきた結果、特に、子どもの睡眠について以下のことが明らかになった。実験室でない家庭環境下の夜間の母児同室において、米国(別室睡眠)と比べて、4週目の新生児の睡眠では動睡眠(レム睡眠)の割合が、静睡眠(ノンレム睡眠)より有意に多く、生後3か月の間に睡眠中の動睡眠がほぼ50%であるのに比べ、静睡眠は25%から40%と増加を示した(Eto et al., 2010)。また、生後6~7週頃から成人と同じようなサーカディアンリズムの確立は認められ(西原, 2002; 江藤他, 2008)、最長睡眠時間も生後4週目の3時間から、7週・12週目では4時間と延長することなど(江藤他, 2010)、睡眠の発達が認められた。

現在、睡眠を測定する簡便な方法としてアクチグラフィが主流であるが、加速度センサーによる動作カウント数を示すのみであるため、リズムを把握するには適しているが、詳細な現象がわかりづらいというデメリットがある。我々は、脳の未熟性によって睡眠ポリグラフィが適さない子どもの睡眠覚醒を、ビデオ録画を用いて視覚的に連続して観察し、詳細なレベルで情報を得ている。今回の研究では、ハイブリッドセンシング技術を用いて、画像データに加えて、音声や運動量データを加味することで、乳幼児の睡眠現象を把握するシステムの開発を試みる。このシステムの実装によって、多くのデータを判定し、分析のスピードアップにつながり、安定した信頼性の高い分析結果が得られるこ

とになる。

2. 研究の目的

生後2週目から時期を延長して6か月の乳児のデジタルデータを収集し、継続的な乳児の観察分析を通して、母児同室下における睡眠覚醒状態の経過を詳細に分析し、その特徴を明らかにすることを目的とする。

以下の3点の目標を到達することである。

(1) ハイブリッドセンシング技術を用い、これまでのビデオの視覚的情報に音声情報や運動量情報を加えた、多重センサーの乳幼児の睡眠評価システムを完成する。

(2) 対象児は、生後2週目、1か月、3か月、6か月の乳児とし、昼夜のデジタルデータを収集する。継続的な乳児の観察分析を通して、家庭環境下における睡眠発達の推移を詳細に分析し、その特徴を明らかにする。

(3) 国内の乳幼児研究者と連携を組み、完成したハイブリッドセンシング睡眠評価システムを利用して、正常児に加え、睡眠状態に障害のある乳幼児を含む睡眠時のデータを収集する。データを分析し、適用を拡大できるような睡眠評価システムの応用可能性を検討する。

3. 研究の方法

(1) ハイブリッドセンシング睡眠評価システムの開発

乳児睡眠ホームモニタリング用ハイブリッドセンシング睡眠評価システムは、一般家庭環境下で乳児の寝床を連続してビデオに収録し、睡眠状態(静睡眠・動睡眠)と覚醒(覚醒・不在)をビデオ記録の解析により自動判定しようとするものである。

録画システムは、照明・撮影・画像収録装置となる。照明装置として、夜間でも照明の明暗の変化に影響をほとんど受けることなく収録可能で、自然の眠りを妨げない、近赤外線LEDを用いたユニットを作成した。カメラ周囲に850[nm]のLEDを採用し半球状に均等に光が広がるように試作し、近赤外線を利用した。撮影装置は、家庭での撮影を前提とした赤外線対応バリフォーカスレンズや高感度モノクロ CCD カメラを使用した。画像収録装置は、大容量の画像データを集積するために外付けのハードディスクを使用し、収録パソコンにUSBで接続した。音声情報としては、方向性の集音機能を備えた高性能の小型マイクを使用し、運動量情報はアクセルメーター(加速度)を利用した装置を収録パソコンに接続した。しかし、家庭環境に搬入・設置する機材をできるだけシンプル(軽量で

持ち運び可能、操作が簡単)にしようと考えていたところ、一晚の録画データを集積できる新しいビデオカメラ (SONY, Handycom, HDR-PJ760) が販売され、入手しスリム化を図った。試作品の作成など試行錯誤したが、結果的にこのビデオカメラで録画システムが整うこととなった。大容量の画像データをカメラのハードに直接的に録画し、夜間の暗環境ではビデオカメラの nightshot 機能 (赤外線) を利用した。音声はボイスレコーダー (TASCAM) を用いて録音補助を試行した。結果的に、補助的に録音した音声は分析にたえず使用できなかった。

ソフトウェアに関しては、ビデオ画像記録 (音声記録は無使用) により、乳児の睡眠状態 (静睡眠 / 動睡眠 / 覚醒 / 不在) を自動的に判定するもので、アルゴリズムの基本となる量は、フレーム間の画像差分である。画像差分の時刻歴に対して、フィルタ処理や頻度解析を施し、睡眠状態の自動判定を行う。

画像分析ソフトを 2 タイプ作成し、比較検討した。1 つめのタイプは、録画・分析一体型であったが、ソフト仕様が特殊で録画面のみを取り出すことができなかった。2 つめのタイプは、録画・分析が別になっており、通常の (市販の) ビデオカメラを使用した録画データを分析ソフトにかけるものである。両者を比較した結果、利便性と厳密性の点を考慮し、後者を使用することとした。

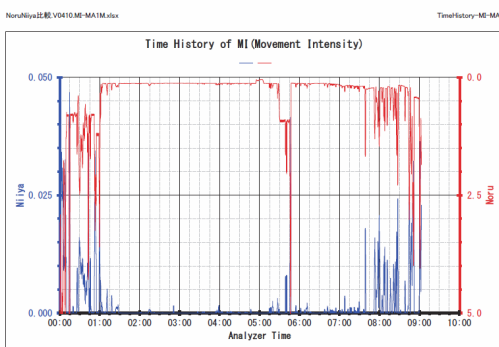


図 1 . 2 タイプのソフトウェアの比較

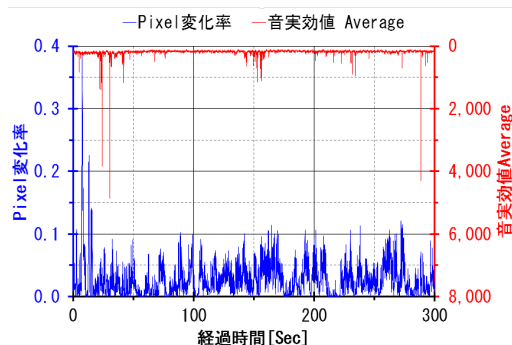


図 2 . 音声分析結果

音声分析については、ソフトウェアを試行したが、母子の音域分類等、検討事項が多く、断念した。

活動量の測定を行っている activatch のデータから、自己相関係数を算出する分析ソフトを作成した。

よって、ソフトウェアは画像と活動量の組み合わせで進めることとした。

(2) 乳児のデータ収集と分析

対象

生後 2 週から 6 か月の早期乳児で、神経学的または発達に関連した明らかな合併症を有しない、 正期産で分娩した第一子。

測定時期

生後 2 週目、4 週目、7 週目、12 週目、25 週目の時点で、自宅で子どもの 2 夜連続のデジタル録画を行った。

データ収集の手順

研究協力のえられた産科クリニックの紹介を経て、研究対象者に研究の目的および協力内容を具体的に説明し、研究協力依頼を行った。研究参加の同意が得られた後、1 週目に家庭訪問を行い、新生児や母親の状態の把握や機器の設置場所の確認を行った。機械をセットした後、録画の開始と終了の操作を説明し、子どもの就床時点から覚醒時点までを連続録画するように伝えた。録画終了時点で 3 度目の家庭訪問を行い、録画内容を確認してもらい、データとして使用することの許可を再度得た。その後、機械一式を撤去し、データ収集を終了する。このプロセスを各時期 5 点で行った。

分析方法

ビデオカメラで録画した映像、睡眠日誌の分析を行った。児の夜間睡眠を Anders rule に基づいて 4 つの state: 静睡眠 (Quiet sleep: QS)、動睡眠 (Active sleep: AS)、覚醒 (Awake: AW)、不在 (Out of crib: OOC) に区分し、それぞれの対象者ごとに 2、4、7、12、25 週の睡眠変数を算出した。総録画時間 (TRP)、総睡眠時間 (TST)、平均睡眠期、最長睡眠期、4 つの state の割合、児の覚醒回数、養育者の介入回数をそれぞれ算出し、データ収集の時期ごとに比較した。

人権の保護及び法令遵守への対応

研究の対象となる乳児の養育者に、研究の目的と内容、研究の参加は自由意思によること、研究協力を中断するのはいかなる時点でも可能なこと、得られたデータは研究目的以外では使用しないこと、研究協力のメリット等について文書および口頭で説明し、研究協力への同意が得られたら、同意書へサインしてもらった。また、録画は非侵襲であり、直接的な危害はないと考えるが、対象は乳児とはいえ自宅での夜間の睡

眠を録画するという非常にプライバシーに関わるデータを収集するため、倫理的原則（匿名性の遵守、秘密保持、プライバシーの保持、研究への参加を途中で棄権する権利、研究への参加・不参加に関わらず不利益を被らないような配慮、研究成果への公表の了解）に則って行う。

研究の実施に先立ち、長崎大学大学院医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て行った。

4. 研究成果

(1) ハイブリッドセンシング睡眠評価システムの開発

ハードウェアは、録画システムとして、照明・撮影・画像収録装置を搭載するシステムの試作を行ったが、一体化可能なビデオカメラ（SONY, Handycom, HDR-PJ760）を使用することにした。このことによって、スリム化が図られ、一晩の録画（約 10-14 時間）がハードに蓄積できた。画質はハイビジョン（HD）の FH Mode にし、フレームレートは 60i、NightShot 作動、解像度は 1920×1080 Pixel で使用した。

ソフトウェアは、上記のビデオカメラで撮影した画像を分析できる録画・分析分割型を使用することとした。Video 録画データを、画像差分の時刻歴を得る。その後、画像差分の時刻歴を Excel で信号処理し、自動判定結果を得る。ハイブリッドとして、画像に加え音声か、活動量かを検討した結果、活動量を採用することとした。分析ソフトを作成した。

(2) 乳児の夜間の睡眠・覚醒

対象は 12 人（男児 7 人、女児 5 人）の第一子である。分娩は 12 名とも経膈分娩であり、分娩所要時間は平均 15 時間 49 分（SD=12.8）であった。出生時体重は平均 2,983g であり、1 分後アプガースコアはすべての児で 8 点以上であった。栄養方法は母乳栄養 7 名、混合栄養 5 名であった。データを収集した時期はそれぞれ 2 週が 14.25±2.69 日、4 週が 27.92±1.73 日、7 週が 49.42±3.25 日、12 週が 84.5±1.82 日、25 週が 175.92±5.28 日であった。

対象者の平均録画開始時刻は 23.55 ± 0.64 時、平均録画終了時刻は 7.69 ± 0.39 時であり、いずれも週数によるばらつきは小さかった。総録画時間の平均は 487.1 ± 108.20 であり、全体的にばらつきが多かった。総睡眠時間はそれぞれの週数において有意な差がみられた。4 週が 326.5 分であり、総録画時間に占める割合も 68% と最も少ないが、ばらつきが多かった。週数を経るにつれて割合が大きくなる傾向がみられた（図 3）。

%AW（覚醒）についてはいずれの週数においても 10% 未満であり、12 週は 2 週、4 週と

比較すると有意に短かった。覚醒回数、介入回数とともに 4 週と比較すると、12 週、25 週で有意に減少していた。自己鎮静はすでに 2 週目からみられていた。

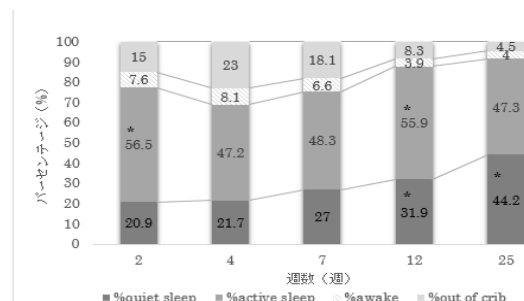


図 3 . 児の睡眠覚醒 state の推移

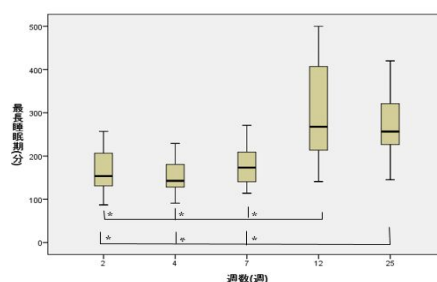


図 4 . 週数毎の最長睡眠期の推移

最長睡眠期は、2 週、4 週、7 週と比較すると 12 週、25 週は有意に長かった。特に 7 週未満と 12 週以降ではギャップがみられ、12 週以降急激に増加していた（図 4）。また、最長睡眠期は第一期睡眠期に見られる人数が有意に多かった。

本研究では、最長睡眠期や平均睡眠期、総睡眠時間など多くの睡眠変数が 2 週から 25 週にかけて増加し、覚醒の割合は減少しており、乳児の睡眠の発達が確認できた。また、睡眠覚醒パターンは 12 週頃までにほぼ確立することが示唆された。

(3) 国内の乳幼児研究者との連携

国内の睡眠学会、ISMSJ（日本臨床睡眠医学会）の学術集会に研究成果を発表し、小児研究者との交流を試みた。また、国際学会では週数年は Europe Sleep Research Society、奇数年は Pediatric Sleep Medicine のカンファレンスに参加した。国内では共同研究者（愛媛、岡氏）を得られたが、研究計画を立案するにとどまった。国際的な研究者については、共同研究を立ち上げるまでには至らなかったが、研究やシステムに関する有益なディスカッションは得られた。

今後、積極的に協力者を募り、正常児の睡眠データに加え、未熟児や睡眠状態に障害のある乳幼児を含む睡眠時のデータを収集し

ていけるようにする。システムの評価のための研究者間のネットワークを広げ、安全で、ロバストな乳幼児の睡眠を明らかにするシステム構築を図り、文化的な違いの検討や、疾患をもつ可能性のある乳幼児の睡眠状態を明らかにしていきたいと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

石川祐子, 江藤宏美, 井村真澄. 子どもの cue と母親の反応性からみた母子相互作用 - 授乳場面の録画分析 -. 日本助産学会誌, 26(2), 264-274, 2012. 査読有

江藤宏美. 特集 広がりゆく睡眠医療の可能性 - 包括的ケアシステムの構築と多職種連携, 4. マタニティ・サイクルにおける睡眠ケア. 睡眠医療, 6(4), 553-558, 2012. 査読無

Kyoko Nishihara, Shigeko Horiuchi, Hiroimi Eto, Sawa Kikuchi, and Yoko Hoshi. Relationship Between Infant and Mother Circadian Rest-Activity Rhythm Pre- and Postpartum, in Comparison With an Infant With Free-Running Rhythm, *Chronobiology International*, 29(3), 363-370, 2012. 査読有

[学会発表](計9件)

井村真澄, 江藤宏美, 黒川寿美江, 金子美紀, 山内淳子, 新見紘美, 中島ひろ美, 東夏樹. 新生児がリードする授乳支援スタッフ教育プログラム開発とその効果. 第28回日本助産学会学術集会, 長崎ブリックホール(長崎), 2014.3.22-23.

Hiroimi Eto. Co-sleeping in Japan: Infant nighttime sleep-wake status and rhythm from 2 - 25 weeks, Seventh Annual Pediatric Sleep Medicine Conference, 2013. 11. 8-10. Florida (US).

江藤宏美. 産褥早期2週から6か月の縦断的な母子の眠りのリズム. 第5回 ISMSJ (Integrated Sleep Medicine Society Japan) 学術集会, 神戸ファッションマート(神戸), 2013.8.2-3.

林安佳梨, 江藤宏美. 生後2~7週の乳児の夜間睡眠・覚醒の推移, 日本赤ちゃん学会第13回学術集会, アクロス福岡(福岡), 2013.5.25-26.

Hiroimi Eto, Fumie Horiuchi, Norimi Takata, S Tanno, Yasunori Oka. Sleep Habits among Japanese Nursery School Children: Findings from TOON Pediatric Sleep Study. The

International Paediatric Sleep Association Congress 2012 (IPSA 2012), Manchester (UK), 2012. 12. 5-7.

井村真澄, 黒川寿美江, 金子美紀, 新見紘美, 串間愛子, 松永真由美, 山内淳子, 東夏樹, 佐藤由美子, 江藤宏美. 新生児がリードする授乳支援のための産科スタッフ教育プログラムの開発(第1報): 教育コンテンツDVD作成, 第37回日本母性衛生学会, アクロス福岡(福岡), 2012.11.17.

井村真澄, 黒川寿美江, 金子美紀, 新見紘美, 串間愛子, 松永真由美, 山内淳子, 東夏樹, 佐藤由美子, 江藤宏美. 新生児がリードする授乳: 生後早期の新生児行動の事例分析, 第37回日本母性衛生学会, アクロス福岡(福岡), 2012.11.17.

Sawa Kikuchi, Kyoko Nishihara, Hiroimi Eto, Shigeko Horiuchi, and Yoko Hoshi. The influence of feeding method on a mother's daily rhythm and on the development of her infant's circadian rest-activity rhythm. 21st Congress of the European Sleep Research Society, Paris, 2012. Sep 4-8.

菊地佐和, 西原京子, 江藤宏美, 堀内成子. 授乳方法の違いによる乳児の概日リズム形成過程への影響と母親のリズム. 日本睡眠学会第37回定期学術集会, パシフィコ横浜(横浜), 2012. 6. 28-30.

[図書](計1件)

仁志田博司・大城昌平・渡辺とよ子・木原秀樹編集(日本ディベロップメンタルケア(DC)研究会編)(江藤宏美), ディベロップメンタルケア. 13. 睡眠発達とケア, メディカ出版. 総頁数 306 頁(271-277 頁), 2014.

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:

国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

江藤 宏美 (ETO, Hiromi)
長崎大学・医歯薬学総合研究科 (保健学
系)・教授
研究者番号：10213555

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

堀内 成子 (HORIUCHI, Shigeko)
聖路加国際大学・看護学部・教授
研究者番号：70157066

西原 京子 (NISHIHARA, Kyoko)
(公財)労働科学研究所・研究員
研究者番号：80172683