

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K18233

研究課題名（和文）人工知能を用いた胎児心拍数陣痛図の分析に基づく急速遂娩のタイミングの決定

研究課題名（英文）Determining the timing of delivery based on analysis of cardiotocogram using artificial intelligence

研究代表者

竹田 純（Takeda, Jun）

順天堂大学・医学部・准教授

研究者番号：60813459

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：産科婦人科ガイドラインの定義に則り、4つの一過性徐脈の判読を行うアルゴリズムを作成した。しかし、遅発一過性徐脈はその変化量の少なさから、検出できない場合があったため、信号処理技術の中でも信号の確率的分布の変化を検出する手法を用いてアルゴリズムを作成した。アルゴリズムの精度評価は20症例の分娩直前のCTGを用い、周産期専門医の判読を絶対的基準として、アルゴリズム、産婦人科専門医、産婦人科後期研修医の判読を比較検討した。その結果アルゴリズムは一過性徐脈の位置同定に関して64.1%という、3者の中で最も高い陽性的中率を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

経験の少ない臨床医がアルゴリズムによるCTGの機械判読の助けを得ることで、従来では認識に至らなかった少しの変化しかない一過性徐脈を認知することが可能となり、安全な分娩管理を遂行することが可能となりえる。それにより、年間500例程度発生している脳性麻痺症例のうち、分娩管理が不十分であったものが回避できる可能性があり、患者、患者家族はもちろんのこと、社会経済的にも大きな意義がある。また、このアルゴリズムは本邦約2000箇所とされる産科において広く適用できる可能性があることから、本研究成果の意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：We created an algorithm to interpret four types of decelerations in accordance with the definitions of obstetrics and gynecology guidelines. However, because late deceleration could not be detected due to the small amount of change, an algorithm was created using a probability density. To evaluate the accuracy of the algorithm, we compared the interpretations of the algorithm, a certified obstetrician, and an obstetrics resident using 20 cases of CTG immediately before delivery, using the interpretation of the perinatologist as the absolute standard. The algorithm had the highest positive predictive value of the three for localizing transient bradycardia at 64.1%.

研究分野：周産期

キーワード：人工知能 機械学習

## 1. 研究開始当初の背景

分娩中の胎児の健常性の評価の方法として胎児心拍数陣痛図 (CTG) と超音波検査があり、CTG は経時的な評価と記録が可能であるため現代の分娩管理において不可欠である。しかし、1960 年代に開発された CTG は、小型化・非侵襲的検査へと改良が進むと、その有効性が十分に検証される前に急速に臨床現場に普及した。そのため現代においても CTG の使用による脳性麻痺の発症率や帝王切開術率への効果は明らかになっていない (Alfirevic Z, et al 2017)。

CTG の判読方法は開発当初に Edward Hon らが基礎となる波形分類を示した後、幾度かの国際的討議の末に多くの国が 3 段階評価法を採用した。一方わが国では CTG 波形パターンを 5 段階のレベルに分類し、それぞれのレベルに応じた対応を行っている。いずれの評価方法も視覚的で主観的な判読を要し、偽陽性率は 90% 程度であること (Krebs HB, et al. 1983) や、同一の検者であっても判読の再現性が保てないことが知られている (Chauhan SP, et al. 2008)。その結果、CTG の判読が不適切であったと考えられる脳性麻痺が発生し、患者やその家族、そして医療経済の観点でも多くの損失が生まれている。わが国の産科医療補償制度における「再発防止に関する報告書・提言」では脳性麻痺の予防のために教訓となる実際の CTG 波形と判読の要点が示されている。しかし歴史的経緯も踏まえれば、現在の判読方法の枠組みだけでなく、分娩予後改善につながる新たな判読方法を追求していく必要がある。特に CTG を適切に判読し、的確なタイミングで急速遂娩を行う技術は産科医一人ひとりの経験に依存している。なかでも帝王切開の実施・タイミングの判断は CTG 判読だけでなく分娩経過、臨床情報を総合的に検証する必要があり、この妥当性は常に相対的である。そのような中、CTG 開発当時と比べて信号処理技術の向上や汎用コンピュータの高精度化、そして機械学習分野の発展を経て、新たな CTG 判読方法を見出す土壌が整ってきた。CTG の判読に必要な暗黙知を明らかにすることは、真に注目すべき波形の発見や、再現性のある波形分類へと繋がる可能性があり、その方法として機械学習の使用が可能となった。

## 2. 研究の目的

CTG から得られる胎児心拍と子宮収縮のデータおよびその CTG パターンに対応する専門医師の行動とそのタイミングを人工知能に機械学習させ、CTG パターンと背景因子の関係性を明確化することで、正しいタイミングでの急速遂娩術を行い分娩による脳性麻痺の発生を回避することを目的とする。

## 3. 研究の方法

単一施設における分娩時の CTG データを読み込み、早発一過性徐脈、変動一過性徐脈、遅発一過性徐脈、遷延一過性徐脈を特徴量として抽出し、他の臨床情報と組み合わせ学習を行う機械学習モデルの作成を試みた。研究対象症例の中から分娩予後別に症例を抽出するため、臍帯動脈血 pH 7.2 を閾値とした。基準値を下回る症例を 10 例、上回る症例を 10 例それぞれ抽出し、学習データとして使用した。データは csv 形式で 1 秒間に 4 回の頻度で胎児心拍を記録している。Python モジュールである pandas を使用して左記 csv を DataFrame として読み込み、各一過性徐脈を検出してアノテーションを行うアルゴリズムを独自に作成した。アルゴリズムは 3 つの解析段階に分けられ、それぞれ基線の決定、基線細変動の数値化、一過性徐脈の検出と分類の 3 段階である。まず基線の決定のために、オリジナルデータの胎児心拍数の欠損値を補完する。そして外れ値を除去し、処理された波形から低周波成分を抽出することで基線とみなす。次に、欠損値のない箇所の移動標準偏差を基線細変動として計算する。そして日本産科婦人科学会診療ガイドラインに示された基準に従って一過性徐脈を検出する。例として、高度遷延一過性徐脈は一過性徐脈の持続時間が 2 分以上で、最下点 80 拍/分以上としている。遅発一過性徐脈は陣痛のピークに遅れて児心拍の最下点が出現するものとして検出される。一方、変動一過性徐脈は最下点にかけて急峻に変化する波形として検出する。逆に、変動一過性徐脈は波形が急激に変化するものとして検出される。一過性徐脈の中でも遅発一過性徐脈については確率分布の変化に基づく波形検出方法を導入することで、従来の検出アルゴリズムでは検出が困難な微小変化にも対応可能なものとした。抽出された一過性徐脈の精度判定に前述した 20 症例の分娩直前 1-2 時間の CTG を用い、周産期新生児医学会母体胎児専門医の判読を絶対的基準として、アルゴリズム、日本産科婦人科学会専門医、産婦人科後期研修医の判読を比較検討した。

## 4. 研究成果

作成したアルゴリズムは前述の 20 症例の分娩時 CTG を用いて検証した。比較検証の方法としては、日本周産期新生児医学会母体胎児専門医による波形判読を絶対的な答えとして、陽性適中率についてアルゴリズム、日本産科婦人科学会専門医、産婦人科後期研修医と比較した。比較は一過性徐脈の検出位置の一致率と各一過性徐脈への分類の一致率で行った。アルゴリズムは周産期新生児医学会母体胎児専門医が指摘した一過性徐脈の 64.1% について検出することができ、そのうち 24.2% については一過性徐脈の分類についても一致していた。日本産科婦人科

学会専門医では検出位置は 45.0%の一致率、各一過性徐脈の分類は 23.0%の一致率であり、産婦人科後期研修医では検出位置は 41.9%の一致率、各一過性徐脈の分類は 20.4%であった。よって各一過性徐脈の分類については日本産科婦人科学会専門医と同程度の判読を行うことができ、位置の同定については日本産科婦人科学会専門医を上回る判読を行うことができていた。日本周産期新生児医学会母体胎児専門医とアルゴリズムのみが検出した一過性徐脈は軽度遅発一過性徐脈が多く、小さな波形変化に対する検出率は日本産科婦人科学会専門医と産婦人科後期研修医を上回っていた。特に、基線細変動が減少している箇所においては、その特徴は顕著であった。一方で、基線細変動が正常もしくは増加している箇所に関しては、周産期新生児医学会母体胎児専門医と日本産科婦人科学会専門医、産婦人科後期研修医は一致していたが、アルゴリズムは検出できない傾向を認めた。これは、アルゴリズムが一過性徐脈の変化を細変動の変化と誤認している可能性が考えられた。

各一過性徐脈の位置検出と波形分類を行うことで、機械学習モデルの学習データとして用いる CTG にアノテーションを行うことが可能となる。モデル訓練には大量のデータを必要とし、そのアノテーションを機械判定によって行うことができれば学習効率を高め、モデル評価や性能検証を行うことが可能となると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Junna Terao, Hitomi Ando, Taichi Matsumoto, Mari Sato, Tadao Kani, Jun Takeda, Atsuo Itakura
2. 発表標題 Development of Evaluation Method for Fetal Cardiotocograph Using Artificial Intelligence
3. 学会等名 日本産科婦人科学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------