

数理の目で見ると精子の旅

ポイント

- ・精子周囲の液体の流れを表す式を解くことで、実験で観測された精子の泳ぎを再現できる
- ・精子周りに生じる流れのパターンから、精子運動を表す簡単な数式を見出した
- ・生体内の精子の運動を理解するのに数理的なアプローチが有効であることを示唆

概要

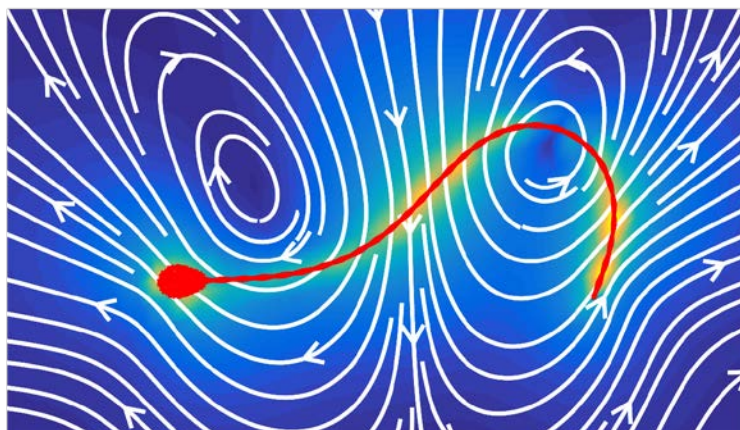
石本健太 白眉センター特定助教らの研究グループは、ミクロの世界での水の流れを表す式（ストークス方程式）を使って、ヒト精子の運動とその周りの液に現れる特徴的なパターンを見出しました。

論文はアメリカ物理学会の学術誌「Physical Review Letters」(3月24日号)に掲載されました。

生命の誕生はひとつの精子と卵の出会いからはじまります。しかし、その前に精子は他の多くの精子たちとの「競争」に勝たなければならない・・・この精子の旅の物語はどこまでが本当なのでしょうか。我々は、精子の泳ぎにまわりの液の流れを表す式からアプローチすることで、精子の旅を覗いてみたいと考えました。

ヒトの精子の顕微鏡映像から取得した情報をもとに、周りに生じる流れの式を解析し、精子の運動をコンピュータ上で再現することに成功しました。また、周りの流れの様子を同じ式から計算してみると、複雑な流れの中にも一定のパターンがあることがわかりました。このパターンをもとに精子の運動を捉え直してみると、精子の運動にも尾をひねりながら押したり引いたりする特徴的なリズムが潜んでいることに気づきました。

このリズムを、流れの方程式で記述することで、精子の運動を表す簡単な数式を見出すことに成功しました。今後はこの数式を使って、生体内を想定した複雑な環境下での精子の運動を調べたいと考えています。



1. 背景

受精された精子は卵に到達するために、「べん毛」とよばれる長さ約 50 ミクロンの尻尾を使い長い距離を泳ぎます。精子の遊泳能力は生殖で重要な役割を果たしており、能力の低下は男性不妊を引き起こすと考えられています。ただし、精子は大変小さく、水の粘度の影響を受けるため、ヒトや魚とは異なる泳ぎの力学メカニズムが働いています。精子が泳ぐ様子はしばしば、ハチミツの中を泳いでいるようだ、と例えられるほどです。

これまでの研究では、ミクロの世界での水の流れを表す式（ストークス方程式）を使って、精子の泳ぎの仕組みが調べられてきました。この式では、泳ぎ方の形状の情報だけで、微生物の運動が求められます。しかし、ストークス方程式から求められた泳ぎ方を実際の精子の顕微鏡映像で検証した例はありませんでした。

本研究の目的のひとつは、この方程式を解いた答えと実際の精子の運動を比較し、数理的なアプローチの有効性を検証することです。また、ストークス方程式の性質によって、微生物の泳ぎ方と微生物周囲の液体の流れのパターンとの間には強い関係があることが知られています。そのため、精子のまわりの流れのパターンから、精子の特徴的な泳ぎのパターンを抽出し、精子の運動を簡単な数式で表現することも可能だと考えました。

2. 研究手法・成果

今回の研究では実際のヒトの精子が泳ぐ様子を高速カメラで撮影し、画像解析を行うことで精子をコンピュータ上で再構築しました。ストークス方程式をコンピュータで解くことで精子の運動を計算し、コンピュータ上で精子を泳がせたところ、実験観測結果を観測誤差の範囲でよく再現することが分かりました。精子の運動に関する数理的アプローチの有効性を示した結果と言えます。

加えて、精子周りの液の流れの様子を調べました。これまで精子周りには尻尾から押し出されるような流れがあると考えられてきましたが、流れのパターンを抽出すると、実際には単純に押し出しているのではなく、ひねりながら押ししたり引っ張ったりを繰り返すリズミカルな流れが生じていることがわかりました。さらに、方程式の性質に注目すると、これらの流れのパターンは、精子が泳ぐ際の力の分布のパターンで表すことが可能であることがわかりました。これにより、精子の運動を比較的単純な数式で表現することができました。

3. 波及効果、今後の予定

今回の研究成果の意義は、複雑な精子の運動をうまく「粗視化」する手法を見出したことにあります。今までは、運動を「粗視化」し数理モデルを作る際には、「物理的な直感」に頼ることが多かったのですが、今回用いた方法では、実験データから数学的な操作のみだけで精子運動の本質を抜き出した数理モデルが得られるため、様々な種類の遊泳微小生物の運動に適用できると考えています。

また、今回の研究で得られた数理モデルを使うことで、卵管内などの狭く複雑な形状内での精子の運動や、多数の精子がいる場合の集団的な運動など、より生体内に近い環境に対しても、数理的アプローチで運動を調べることができると考えています。これらの研究を進めることで、実験観測が難しく、理解が進んでいない精子の運動の様子を、数理の目で明らかにできるのではないかと期待しています。また、受精に必要な精子の力学的機能を理解することで、不妊治療の発展に貢献したいと考えています。

4. 研究プロジェクトについて

京都大学白眉プロジェクト、京都大学融合チーム研究プログラム SPIRITS、MRS Special Training Fellowship による支援を受けました。

<論文タイトルと著者>

タイトル : Coarse-graining the flow around a human sperm

著者 : Kenta Ishimoto, Hermes Gadêlha, Eamonn A. Gaffney, David J. Smith, Jackson Kirkman-Brown

掲載誌 : Physical Review Letters

