

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18353

研究課題名（和文）腸内食物輸送の数値シミュレーションによるヒト腸内の栄養素吸収過程の流体力学的解明

研究課題名（英文）Numerical simulation of nutrient transport and absorption in the human intestine

研究代表者

宮川 泰明（Miyagawa, Taimei）

弘前大学・理工学研究科・助教

研究者番号：60804599

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）：本研究課題の目的は、数値計算を用いてヒト腸内における栄養素の攪拌および吸収と小腸壁の運動の関係を明らかにすることである。管壁にぜん動運動および分節運動を模擬した運動を強制変位として与えることで小腸内の流れを再現した。数値計算により、レイノルズ数や狭窄率などのパラメータと栄養素の攪拌および吸収の関係を評価した。これにより、小腸運動による攪拌及び吸収には最適なパラメータが存在することが明らかになり、この範囲が生理学的な条件下に入っていることが明らかになった。したがって、生体内では効率よく栄養素を攪拌・吸収している可能性が示唆される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小腸内部の栄養素は可視化が難しく、実験的に観察するのは困難であり、数値計算を用いた解析が必要である。本研究による結果は、栄養素ごとにどの領域からどれだけの量が攪拌および吸収されるのかを簡易的に予測することが可能であり、ヒト小腸内における栄養素の攪拌および吸収に関する基礎的知見を与えるものである。今後は小腸実形状を用いた数値解析を進めることにより、より現実に近い計算が可能となり、消化に関する理解がさらに進むと期待される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to evaluate the relationship between the intestinal wall motion and mixing or absorption of the nutrient in the intestine. Numerical calculations were performed to evaluate the relationship between the agitation and absorption of nutrients and parameters such as Reynolds number and constriction ratio. The results revealed optimal parameters for mixing and absorption by small intestinal motility and that this range is within physiological conditions. Therefore, it suggests that nutrients may be efficiently mixed and absorbed in the intestine.

研究分野：計算生体力学

キーワード：小腸 攪拌 吸収 数値流体力学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ヒトの小腸は長さ約 6 メートルの管であり、食物の消化と吸収が主な役割である。胃内で胃液と混合された食物は、小腸内で胆汁や膵液と混合されグルコース等の栄養素に分解されたのち、小腸壁を通じて体内に吸収される。これらの過程にぜん動運動や分節運動といった消化管壁の運動が大きな役割を担っているが、実験的にこれらを計測するのは困難であり、その背景にある力学はほとんど明らかになっていない。

### 2. 研究の目的

申請者はこれまでの研究において、胃の実形状データおよび数値流体力学 (CFD) に基づく胃内食物輸送の CFD シミュレータを開発し、ヒトの胃における消化・吸収過程を流体力学に基づき、初めて明らかにした。本研究では「小腸内のどこで、どのように栄養素が吸収されるのか？」を数値シミュレーションによって明らかにする。

### 3. 研究の方法

小腸を模擬した管にぜん動運動および分節運動を模擬した壁面の強制変位を与える。これを ALE 有限要素法を用いて解き、流れ場、トレーサー粒子の運動および濃度場を得る。初期に管中央部に分布させたトレーサー粒子の y 方向 (壁面方向) への分散を解析することで攪拌量を評価した。さらに、濃度場の平均値を用いることで、壁面からの吸収量を評価した。

### 4. 研究成果

#### 小腸内用物攪拌

図 1 にぜん動運動時における初期時刻および 10 周期後のトレーサー粒子の位置を示す。トレーサー粒子は、単にレイノルズ数が大きくなればなるほど壁方向に輸送されやすくなるのではなく、レイノルズ数が大きくても小さくても攪拌されず、攪拌に適切なレイノルズ数の存在が示唆された。

図 2 に分節運動時の結果を示す。レイノルズ数の増加とともにトレーサー粒子は壁方向に輸送されやすくなる傾向はあるが、この場合も攪拌に適切なレイノルズ数の存在が示唆された。

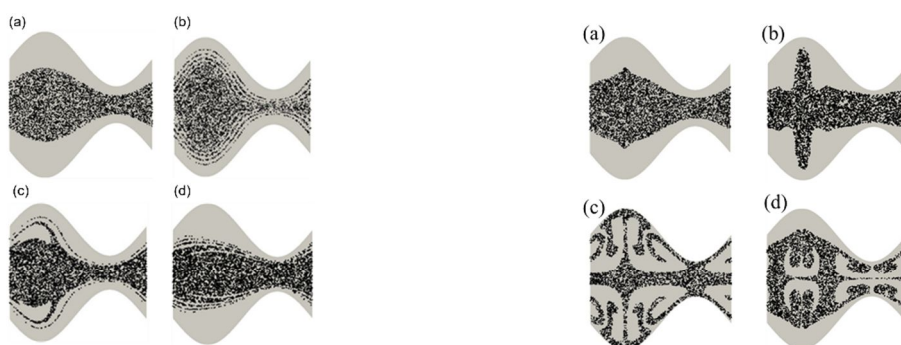


図 1. ぜん動運動における初期時刻および 10 周期後のトレーサー粒子の位置。(a) 初期時刻, (b)  $Re = 0.1$ , (c)  $Re = 10$ , (d)  $Re = 100$ .

図 2. 分節運動における 10 周期後のトレーサー粒子位置。(a)  $Re = 0.1$ , (b)  $Re = 1.0$ , (c)  $Re = 10$ , (d)  $Re = 100$ .

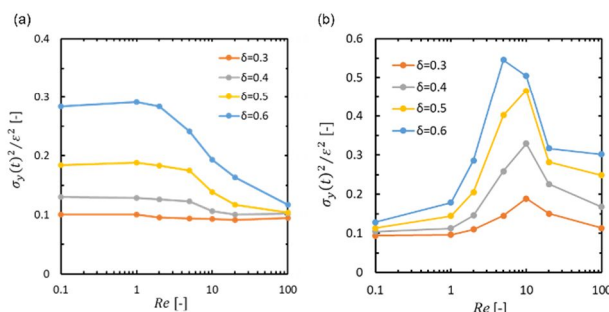


図 3. y 方向の分散。(a) ぜん動運動, (b) 分節運動。

図 3 にぜん動及び分節運動の狭窄率およびレイノルズ数とトレーサー粒子の y 方向の拡散の関係を示す。図中の y 軸の値が大きいほどより壁付近までトレーサー粒子が攪拌されていることを意味する。これより、狭窄率が大きくなるほど攪拌量も大きくなる事が分かる。また、レイノルズ数と攪拌量の関係は上に凸になっており、最適な攪拌量があることが示唆される。このレイノルズ数の値は、生体内で観察できる範囲であるため、小腸内によって効率よく内容物を攪拌していることが示唆される。

### 小腸内容物吸収

次に小腸内容物吸収について解析した。図 4 はぜん動運動時における 100 周期後の濃度分布を示す。壁面より吸収され、低濃度の領域が生じていることが分かる。壁表面からの吸収率と内容物の拡散の比であるシャーウッド数を変化させると吸収量が変わる事が分かるが、ある程度以上シャーウッド数を大きくするとそれ以上は吸収が促進されていないことが分かる。

分節運動の場合の結果を図 5 に示す。ぜん動運動の場合と異なり、シャーウッド数の影響は小さくなっている。また、壁面内部の低濃度領域が管中央部まで広がり、吸収が促進されている様子が分かる。

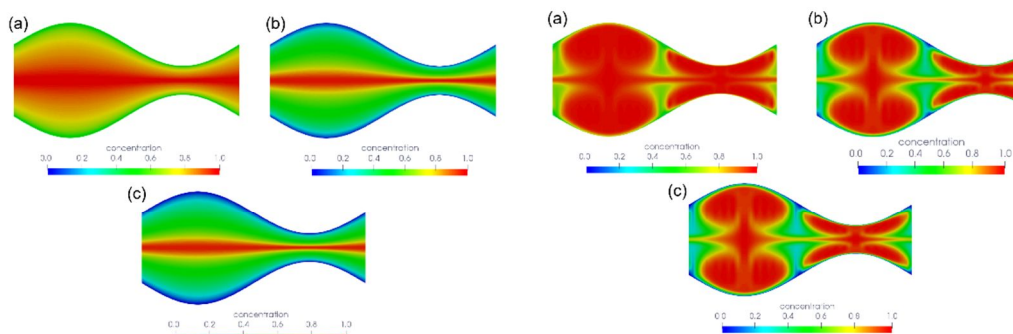


図 4 . ぜん動運動における100周期後の濃度分布. (a)  $Sh = 0.001$ , (b)  $Sh = 0.01$ , (c)  $Sh = 0.1$ . 図 5 . 分節運動における100周期後の濃度分布. (a)  $Sh = 0.001$ , (b)  $Sh = 0.01$ , (c)  $Sh = 0.1$ .

図 6 にレイノルズ数および狭窄率と 100 周期後の内容物平均濃度の関係を示す。平均濃度が低いほど吸収量が多いことを示す。ぜん動運動の場合、レイノルズ数と平均濃度の関係は下に凸となり、吸収に最適なレイノルズ数の存在が示唆される。一方、分節運動の場合は、レイノルズ数が大きいほど吸収量が多くなる傾向がある。

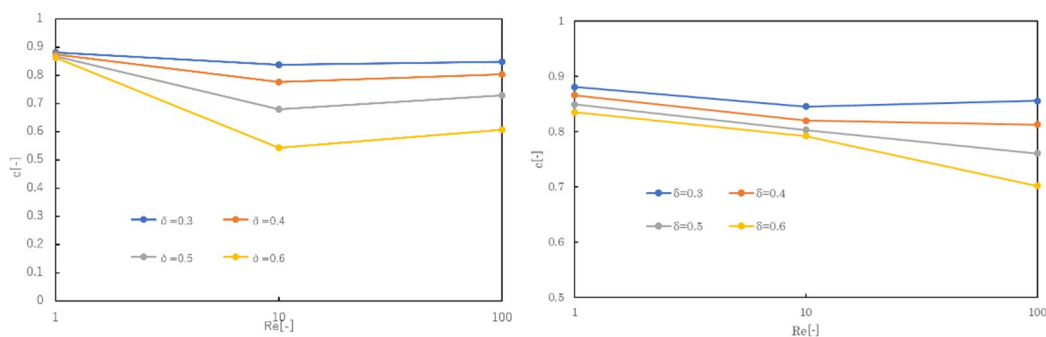


図6. レイノルズ数および狭窄率と平均濃度の関係. (a) ぜん動運動, (b) 分節運動.

以上の結果は、ヒト腸内における栄養素の攪拌及び吸収についての基礎的知見を与えるものである。今後は、小腸実形状を用いた解析などによって、さらに消化への理解が深まることが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Oyama Tomoki, Ishida Shunichi, Maeyama Kohei, Miyagawa Taimei, Imai Yohsuke	4. 巻 6
2. 論文標題 Liquid transport produced by a cluster of peristaltic contractions in a circular channel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/physrevfluids.6.093102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 宮川泰明, 村田裕幸
2. 発表標題 ヒト小腸における食物輸送・攪拌の数値計算
3. 学会等名 日本機械学会 第32回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮川泰明, 三島壮槻, 村田裕幸
2. 発表標題 小腸内における栄養素攪拌・吸収の数値計算
3. 学会等名 第31回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高田 知輝, 宮川 泰明, 村田 裕幸
2. 発表標題 小腸壁の運動による固体粒子の輸送の数値解析
3. 学会等名 東北学生会 第 52 回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野平悠真, 宮川泰明, 村田裕幸
2. 発表標題 小腸運動モデルにおける内容物吸収現象の数値解析
3. 学会等名 日本機械学会 第32回バイオフィロンティア講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuma Nohira, Taimei Miyagawa, Hiroyuki Murata
2. 発表標題 A numerical analysis of absorption phenomena in a small intestine
3. 学会等名 The 11th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮川泰明, 三島壮槻, 村田裕幸
2. 発表標題 小腸内容物攪拌・吸収の基礎的研究
3. 学会等名 日本機械学会 第30回バイオフィロンティア講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019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
---------	---------