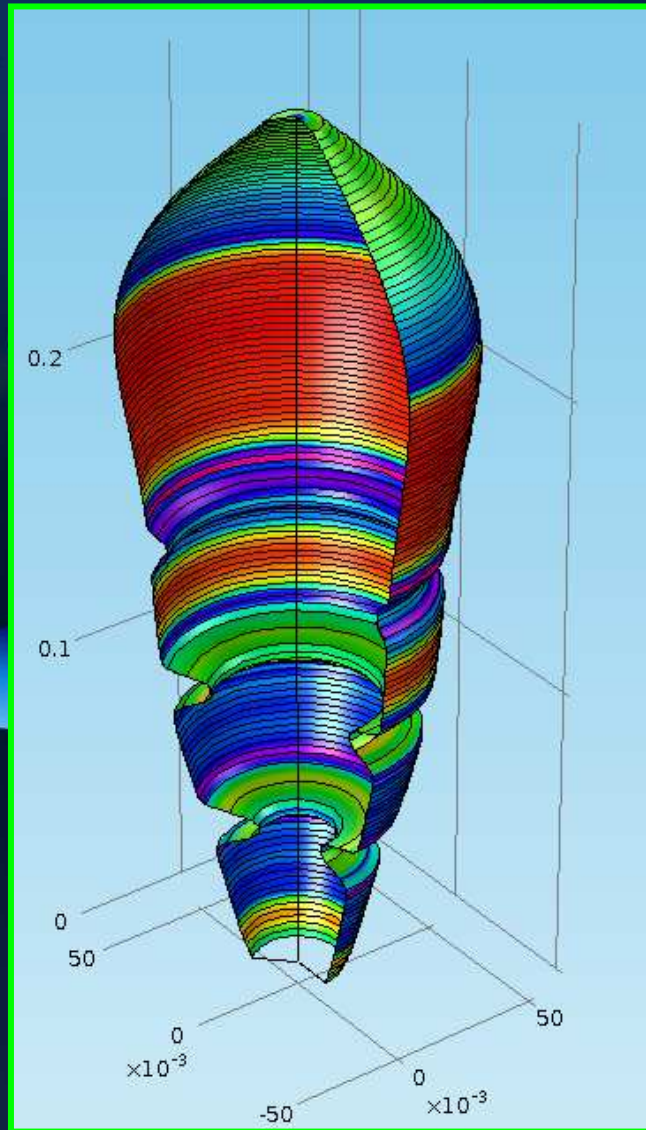


Analisi e simulazione del comportamento meccanico di uno stomaco umano

Analisi e simulazione del comportamento meccanico di uno stomaco umano



Gianluca Fortunato

Gianluca Fortunato



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica

Analisi e simulazione del comportamento meccanico di uno stomaco umano

Tesi in

Principi di Ingegneria Chimica

Relatori:

Ch.mo Prof. Ing. Giuseppe Titomanlio

Prof. Ing. Gaetano Lamberti

Correlatore: Ing. Sara Cascone

Candidato:

Fortunato Gianluca

matricola 0612200132

Anno Accademico 2011/2012

A mamma e papà

Questo testo è stato stampato in proprio, in Times New Roman
La data prevista per la discussione della tesi è il 19.XII.2012
Fisciano, 13/XII/2012

Sommario

Sommario	I
Indice delle figure	III
Indice delle tabelle	V
Introduzione	7
1.1 Fisiologia	8
1.1.1 Fisiologia umana: la digestione.	8
1.2 Lo stomaco umano	9
1.2.1 Struttura dello stomaco umano	9
1.2.2 Fisica e chimica della digestione nello stomaco.	11
1.3 Stato dell'arte	14
1.3.1 Pal A, Indireskumar K, Schwizer, Abrahamsson B, Fried M, Brasseur JG. 2004 [1].	14
1.3.2 Modeling the Fluid Dynamics in a Human Stomach to Gain Insight of Food Digestion [2].	15
1.3.3 Computational modeling of gastric digestion and the role of food material properties [3].	20
1.4 Obiettivi	22
Costruzione dominio	23
2.1 Costruzione per punti del dominio	24
2.2 Costruzione analitica del dominio	27
2.2.1 Passaggio in coordinate polari.	27
2.2.2 Il coefficiente angolare $m(\theta)$	32

2.2.3 Calcolo coordinate (x_{a1}, y_{a1}) e (x_{a0}, y_{a0})	34
Contrazioni peristaltiche	37
3.1 Dominio con contrazioni _____	38
3.1.1 Contrazioni peristaltiche	38
3.2 Rigonfiamento superiore _____	40
3.2.1 Variazione di volume dell'antro	40
3.2.2 Variazione di volume del fondo	40
3.3 Implementazione in <i>COMSOL Multiphysics</i> ® 3.5 _____	41
3.3.1 Definizione costanti	42
3.3.2 Definizione espressioni globali	43
3.4 Definizione profilo con <i>MATLAB R2010</i> _____	45
3.4.1 Definizione geometria su Matlab	45
3.4.2 Definizione del dominio in Comsol	46
3.4.3 Definizione fisica su sottodominio e contorno	47
3.4.4 Parametri di calcolo	47
3.5 Risultati _____	48
Conclusioni	53
4.1 Conclusioni _____	54
Notazione	57
Bibliografia	59

Indice delle figure

Figura 1. Schema semplificato dello stomaco umano.	9
Figura 2. Tonaca mucosa dello stomaco.....	13
Figura 3. (A) Serie di circonferenze usate per sviluppare la geometria 3D del modello. (B) Vista isometrica del modello geometrico finale.	15
Figura 4. ACWs durante la digestione. (A) Origine e velocità media delle ACW. (B) Ampiezza delle ACW. (C) Direzione e ampiezza delle ACW.	16
Figura 5. Massima velocità di retroflusso (in blu) e vorticità media regione antro-pilorica (in rosso) ottenute esaminando un fluido di viscosità pari a 0.001 Pa·s durante la propagazione delle contrazioni peristaltiche.	18
Figura 6. Effetto della viscosità . Fluido Newtoniano di viscosità 1cP. Retropulsive jet-like motion and flow recirculation(eddies).	18
Figura 7. Effetto della viscosità. Fluido Newtoniano di viscosità 1000cP	19
Figura 8. Vorticità in funzione della viscosità del fluido.	19
Figura 9. a) Newtonian fluid con viscosità 1×10^{-3} Pa·s; b) Newtonian fluid con viscosità 1Pa·s; c) Shear thinning fluid($k = 0.233$ Pa·s, $n = 0.59$)	20
Figura 10. Profili di velocità predetti contro profili ottenuti sperimentalmente.	22
Figura 11. Sezione stomaco medio umano	24
Figura 12. Risultato ottenuto a seguito delle misurazioni effettuate mediante Image J.	26
Figura 13. Rappresentazione punti della grande curvatura in coordinate rettangolari.	28
Figura 14. Curva di fitting dei punti in coordinate polari; vedi eq.(2.5).....	29
Figura 15. Andamento $R(\Theta)$ in funzione di Θ	31
Figura 16. Andamento della lunghezza di curvatura $s(\theta)$ rispetto a θ	32
Figura 17. Andamento di $R(\theta)$ contro $s(\theta)$	32
Figura 18. Variazione del coefficiente angolare m al variare di θ	34
Figura 19. Risultato costruzione analitica del dominio di lavorazione.....	35

Figura 20. Stomaco umano con contrazioni peristaltiche.	38
Figura 21. Viene mostrato l'andamento di $R(\theta)$ contro $s(\theta)$ in assenza di contrazioni (linea continua); la tratteggiata mostra la variazione del raggio R_{t1} lungo $s(\theta)$ a causa delle contrazioni peristaltiche.	39
Figura 22. Esempio di geometria disegnata in Comsol.....	45
Figura 23. Schema passaggi da eseguire per l'importazione dei dati creati in Matlab.....	47
Figura 24. Dominio ricostruito su <i>Comsol</i> in presenza di contrazione al tempo 0. ..	48
Figura 25. Andamento della v_{R1} rispetto alla posizione ($t=0$).....	49
Figura26. Andamento della v_{R2} in funzione della posizione ($t=0$).	49
Figura 27. Variazione della velocità lungo l'intera curvatura.....	50
Figura 28. Contorno con rigonfiamento (rosso) e in assenza di rigonfiamento (nero) a $t=0$	51
Figura 29. Sequenza della propagazione delle contrazioni e del rigonfiamento.....	51

Indice delle tabelle

Tabella 1. Coordinate dei punti del centro (x_c, y_c) lungo la grande curvatura (x_1, y_1) e lungo la piccola curvatura (x_0, y_0)	25
Tabella 2. Coordinate del centro con origine al piloro	26
Tabella 3. Coordinate dei vari punti P in coordinate polari	29
Tabella 4. Coefficienti a_n per il calcolo di $\rho(\Theta)$	30
Tabella 5. Valori delle costanti b_{6-n} per il calcolo di R in funzione di θ	30
Tabella 6. Valori P_i per il calcolo del coefficiente angolare $m(\Theta)$	33
Tabella 7. Costanti.....	42
Tabella 8. Espressioni globali.....	44

Notazione

Simbolo	Comsol	Descrizione	Unità di misura
R	R_	Raggio in assenza di contrazioni	m
$s(\theta_a)$	s_teta_a	Posizione lungo z del punto di partenza della contrazione	m
	T_0	Tempo impiegato dall'onda per raggiungere il piloro	s
	A	Quanto è profonda l'onda	m
f_R	f_R	Funzione correttiva del raggio a riposo della zona antrale	
f_F	f_F	Funzione correttiva del raggio a riposo della zona del fondo	
	R_{t1}	Funzione del raggio della zona antrale in presenza delle contrazioni	m
	R_{t2}	Funzione del raggio del fondo in presenza di rigonfiamento	m
	Rtg	Funzione generale del raggio, dal piloro al fondo	m
	vR1	Funzione della velocità nella zona antrale	m/s
	vR2	Funzione della velocità nella zona del fondo	m/s

Bibliografia

1. Pal A, Indireskumar K, Schwizer W, Abrahamsson B, Fried M, Brasseur JG. 2004. Gastric flow and mixing studied using computer simulation. *Proc R Soc Lond B* **271**:2587–94.
2. Ferrua, M. J., & Singh, R. P. (2010). Modeling the fluid dynamics in a human stomach to gain insight of food digestion. *Journal of Food Science*, **75**(7), R151eR162.
3. M.J.Ferrua, R.P.Singh and Fanbin Kong(2011). Computational Modeling of Gastric Digestion and the Role of Food Material Properties.
4. Pal A, Brasseur JG, Abrahamsson B. 2007. A stomach road or “Magenstrasse” for gastric emptying. *J Biomech* **40**:1202–10.
5. Marciani L, Young P, Wright J. 2001b. Antral motility measurements by magnetic resonance imaging. *Neurogastroenterol Motil* **13**(5):511–8.
6. Boulby P, Moore R, Gowland P, Spiller RC. 1999. Fat delays emptying but increases forward and backward antral flow as assessed by flow-sensitive magnetic resonance imaging. *Neurogastroenterol Motil* **11**(1):27–36.

Ringrazio i miei genitori, per tutti i sacrifici fatti affinché potessi raggiungere quest'importante traguardo. Mi avete dato tanto e spero di potervi ripagare nel migliore dei modi un giorno.

Ringrazio Antonio, per essermi stato vicino in tanti modi e per avermi fatto capire l'importanza dello studio, e Salvatore per avermi fatto capire che ogni tanto bisogna anche staccare la spina.

Ringrazio il prof. Lamberti per avermi guidato con estrema pazienza in questo percorso. Lavorare con lei è davvero un piacere.

Ringrazio l'ing. Sara Cascone per la disponibilità, l'infinita pazienza e per avermi insegnato che il GRICU non è un ristorante esotico.

Ringrazio Marco, per le fantastiche cene e per avermi insegnato tanto dal punto di vista umano. Ringrazio Elio e Michele, per tutti i momenti trascorsi assieme, dagli esami alle partite a Fifa. Senza di voi sarebbe stato tutto più difficile. Ringrazio Antonio Film, con il quale ho condiviso la mia passione per il cinema. Ringrazio Niko e Patrick perché so di poter contare sempre su di loro. Ringrazio inoltre Rocco ed Emma, per tutto l'aiuto e l'affetto che mi hanno dato, e Caiffo, il mio collega a distanza con il quale condividere passioni comuni.

Ringrazio, infine, Maria Carmela. Grazie per tutto quello che mi dai, per la fiducia in me e per esserci sempre nella mia vita. Affronto tutto con uno spirito migliore sapendo che ci sei tu al mio fianco.
