

## ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΕΝΔΟΘΗΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΙΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΑΓΓΕΙΑΚΩΝ ΤΡΙΧΟΕΙΔΩΝ ΜΕΣΩ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΚΛΙΜΑΚΩΝ

**Β. Μητσούλας<sup>1</sup>, Κ. Γιαννοκόστας<sup>1</sup>, Γ. Δημακόπουλος<sup>1,\*</sup> και  
Γ. Τσαμόπουλος<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, Ελλάδα

(\*[dimako@chemeng.upatras.gr](mailto:dimako@chemeng.upatras.gr))

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επίδραση του μακρομοριακού στρώματος που καλύπτει την επιφάνεια του αγγειακού ενδοθηλίου (endothelial surface layer ή ESL<sup>(1)</sup>) στο μικροκυκλοφορικό σύστημα, έχει αποτελέσει αντικείμενο υψηλού ενδιαφέροντος, καθώς χαρακτηρίζεται ως ο κύριος αισθητήρας και μηχανοτροπέας της διατμητικής τάσης που ασκείται από το πλάσμα του αίματος στα ενδοθήλια κύτταρα. Στην μελέτη αυτή διερευνούμε την ικανότητα του στρώματος ESL να επιτρέπει τη διέλευση ρευστού (διαπερατότητα). Στη προσπάθεια αυτή, διεξάγουμε μια σειρά από προσομοιώσεις πολλαπλών κλιμάκων της ροής αίματος σε τριχοειδή αγγεία, τα οποία συνδέονται άμεσα με τη καρδιαγγειακή παθοφυσιολογία. Για το σκοπό αυτό, παρουσιάζουμε ένα πολυφασικό μοντέλο κινούμενης διεπιφάνειας<sup>(2)</sup> αποτελούμενο από: (i) το κεντρικό μέρος του αγγείου πλούσιο σε ερυθρά αιμοσφαίρια χαρακτηριζόμενα από μια ιξωδοελαστοπλαστική καταστατική εξίσωση<sup>(3)</sup>, ένα φορμαλισμό που συνδυάζει τα φαινόμενα συσσωμάτωσης των ερυθρών σε σχέση με την τάση διαρροής σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης, (ii) ένα δυναμικά προβλέψιμο στρώμα πλάσματος<sup>(4)</sup> που δεν περιλαμβάνει ερυθρά (cell-free-layer ή CFL) πλούσιο σε πρωτεΐνες, και (iii) ένα πορώδες μέσο πάχους 150-500 nm που αντιπροσωπεύει το στρώμα ινών γλυκοκάλυκα του ESL. Μοντελοποιώντας τον γλυκοκάλυκα σαν μια συστοιχία χωρικά δομημένων ινών υπολογίζουμε με ακρίβεια τη διατμητική τάση στη διεπιφάνεια πυρήνα-πλάσματος καθώς και τη μακροσκοπική παράμετρο διαπερατότητας  $k_p$  ορισμένη βάσει γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Επεκτείνουμε τη διερεύνηση αυτή με ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο μικροσκοπικής σκοπιάς, κατά την οποία λαμβάνουμε υπ' όψη την αλληλεπίδραση μεταξύ πλάσματος και ινών γλυκοκάλυκα. Οι ίνες αυτές αντιμετωπίζονται ως παραμορφώσιμες ελαστικές δομές στερεών. Το πρόβλημα της αλληλεπίδρασης στερεού-υγρού (fluid-structure interaction ή FSI) ορίζεται αρχικά σε 2D και κατ' επέκταση σε 3D περιοδικό χωρίο χρησιμοποιώντας τη διατμητική τάση και το πάχος του στρώματος CFL που εξάγουμε από την μακροσκοπική προσομοίωση. Παρά το γεγονός του προσδιορισμού της δυναμικά μεταβαλλόμενης διατμητικής τάσης με αρκετά μεγαλύτερη ακρίβεια, η μικροσκοπική ανάλυση συνοδεύεται από υψηλό υπολογιστικό κόστος σε σχέση με τη μονοδιάστατη μακροσκοπική προσέγγιση. Συνεπώς, βασιζόμενοι στις πληροφορίες αυτές ορίζουμε σχέσεις που περιγράφουν με αξιοπιστία τις μακροσκοπικές χρονομεταβαλλόμενες μηχανικές και ροϊκές ιδιότητες που εμφανίζονται από το αιμο-ρεολογικό πεδίο. Ζυγίζοντας το υπολογιστικό κόστος της μεθόδου FSI και την ακρίβεια των δύο μοντέλων, καταλήγουμε πως η διαπερατότητα του πορώδους στρώματος μπορεί να προσδιοριστεί ικανοποιητικά από το πολυφασικό μονοδιάστατο μοντέλο σε περιπτώσεις ροής αίματος όπου απουσιάζουν έντονα αιμοδυναμικά φαινόμενα και ο ρόλος του στρώματος γλυκοκάλυκα είναι σχετικά ασήμαντος.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Pries et al. (2000). *Plugers Arch*, 440:653.
- [2] Shiram et al. (2014). *Microcirculation*, 21: 628.
- [3] Dimakopoulos et al. (2017). *J. Vasc. Res.*, 54:71.
- [4] Varchanis et al. (2018). *Soft Matter*, 14:4238-4251.