

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КРОВІ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ПУЛЬСОВОЇ ХВИЛІ**

Реологія – це область механіки, яка вивчає особливості перебігу та деформації реальних суцільних середовищ, одними з представників яких є неньютонівські рідини зі структурною в'язкістю. Типовою неньютонівської рідиною є кров. Реологія крові, або гемореологія, вивчає механічні закономірності і особливо зміни фізикоїдних властивостей крові в процесі циркуляції з різною швидкістю і на різних ділянках судинного русла. Рух крові в організмі визначається скорочувальною здатністю серця, функціональним станом кровоносного русла, властивостями самої крові. При порівняно малих лінійних швидкостях, течія частки крові зміщуються паралельно один до одного і осі судини. У цьому випадку потік крові має шаруватий характер, і такий перебіг називають ламінарним.

Реологічні властивості крові визначають опір, який повинен бути переборений роботою серця – помпою кровообігу. Патологічні зміни реологічних властивостей крові лежать в основі виникнення й розвитку широкого кола захворювань, особливо це стосується захворювань артерій та вен. Практично всі хірургічні втручання супроводжуються негативними змінами реологічних і коагуляційних властивостей крові, що є однією з найважливіших причин тромбоемболічних ускладнень.

Одним з найважливіших реологічних параметрів крові є в'язкість. В'язкість крові визначається як відношення напруги зсуву до швидкості зсуву, і вимірюється в мПа·с. Принциповими факторами, що впливають на в'язкість крові, є гематокрит, властивості плазми, агрегація і деформованість клітинних елементів. Враховуючи переважну більшість еритроцитів у порівнянні з лейкоцитами і тромбоцитами, в'язкі властивості крові визначаються в основному червоними клітинами.

Найголовнішим чинником, що визначає в'язкість крові, є об'ємна концентрація еритроцитів (їх зміст і середній об'єм), звана гематокритом. Гематокрит, який визначається з проби крові шляхом центрифугування, становить приблизно 0,4 - 0,5 л/л. Плазма є неньютонівської рідиною, її в'язкість залежить від температури і визначається складом білків крові. Більш всього на в'язкість плазми впливає фібриноген (в'язкість плазми на 20% вище в'язкості сироватки) і глобуліни (особливо  $\gamma$ -глобуліни). На думку деяких дослідників більш важливим чинником, який веде до зміни в'язкості плазми, є не абсолютна кількість білків, а їх співвідношення: альбумін/глобуліни, альбумін/фібриноген. В'язкість крові збільшується при її агрегації, що визначає неньютонівської поведінку цільної крові.

При проведенні аналізу параметрів пульсової хвилі було виявлено, що форма пульсової хвилі значно відрізняється у хворих з різною в'язкістю крові і гематокритом. У результаті проведеного нами аналізу даних, отриманих при знятті пульсової хвилі і вимірюванні в'язкості крові та гематокриту, було встановлено, що останні істотно впливають на амплітуду і форму коливань заднього фронту пульсової хвилі.

Для визначення в'язкості крові на сьогоднішній день використовують декілька способів. Всі існуючі віскозиметри умовно поділяються на 2 групи: з однорідним полем напруг і деформацій – ротаційні реометри з різною геометрією робочих частин (циліндричні, дискові, конуспоскоість та ін.) І відносно неоднорідним полем напруг і деформацій – капілярні віскозиметри, прилади, що працюють за методом Стокса, за принципом реєстрації механічних, електричних, акустичних коливань. В даний час найбільшого поширення набули капілярні і ротаційні віскозиметри.

Недоліками цих методів є їх інвазивність. Вимірювання в'язкості крові відомими на сьогоднішній день способами не дозволяє проводити безперервний контроль в'язкості в ході тривалих і травматичних операцій, а також у післяопераційному періоді.

Розробка способів неінвазивної діагностики якості крові в даний час надзвичайно актуальна ще й у зв'язку із збільшенням числа важких невиліковних захворювань, що передаються через кров.

Отже потрібний метод, який дозволяє неінвазивно контролювати реологічні властивості крові.

Тому, актуальним є питання дослідження можливості використання параметрів пульсової хвилі для визначення в'язкості крові та гематокриту неінвазивним шляхом і проведення безперервного моніторингу цих параметрів без відповідних заборів крові. В'язкість суспензій суттєво залежить від відносного об'єму твердих частинок, або для крові – від гематокриту (відносна об'ємна частка клітинних компонент у крові), а саме – збільшується зі зростанням гематокриту. В'язкість крові людини в нормі 4 – 5 мПа·с, при патології коливається від 1,7 до 22,9 мПа·с, що впливає на швидкість осідання еритроцитів.

У роботі запропоновано неінвазивний метод визначення в'язкості крові за дослідженням параметрів заднього фронту пульсової хвилі (ПХ). Для цього пацієнту лише потрібно зареєструвати пульсову хвилю, наприклад фотоплетизмографом, програмне забезпечення на основі формули, яка описана нижче, може швидко і точно виводити результати в'язкості.

Лінійний зв'язок в'язкості крові із тривалістю спаду пульсової хвилі може бути обґрунтований при використанні гідродинамічної моделі кровоносної системи, запропонованої О. Франком, для якої гемодинамічне рівняння:

$$\int_0^{T_{II}} Q dt = k \int_{P_D}^{P_D} dp + \frac{1}{X_0} \int_0^{T_{II}} P dt, \quad (1)$$

де  $Q$  – об'ємна швидкість кровотоку;

$T_{II}$  – період скорочення пульсової хвилі, що включає тривалість систоли  $T_C$  і діастоли  $T_D$ ;

$k$  – еластичність кровоносних судин;

$P_D$  – мінімальний діастолічний тиск;

$t$  – час;

$X_0$  – гідродинамічний опір периферійної частини системи кровообігу визначається

$$X_0 = \frac{8l\eta}{\pi R^4}, \quad (2)$$

де  $\eta$  – в'язкість крові;

$l$  – довжина досліджуваної ділянки кровоносної судини;

$R$  – середній радіус певної кровоносної судини.

Якщо припустити, що під час діастоли об'ємна швидкість притоку крові дорівнює нулю,  $Q = 0$  – відтік крові до периферії, то рівняння (1) можна записати у вигляді

$$0 = k \int_{P_C}^{P_D} dp + \frac{1}{X_0} \int_{T_C}^{T_D} p dt, \quad (3)$$

де  $P_C$  – максимальний систолічний тиск.

З (3) гідродинамічний опір може бути представлений у вигляді

$$X_0 = \frac{\int_{T_C}^{T_D} p dt}{k \int_{P_C}^{P_D} dp}, \quad (4)$$

Враховуючи вирази (2) і (4), в'язкість крові може бути представлена у вигляді

$$\eta = \frac{\pi R^4 \int_{T_C}^{T_D} p dt}{8l k (P_C - P_D)} \quad (5)$$

Отриманий вираз показує зв'язок в'язкості крові з формою пульсової хвилі під час діастоли, тобто на ділянці спаду пульсової хвилі. Для моделі гармонічної пульсової хвилі інтеграл від залежної від часу частини в рівнянні (5) у заданих межах дорівнює нулю. Інтеграл від не залежної від часу частини  $p$  є лінійною функцією різниці меж інтегрування  $T_D - T_C$ , тобто тривалості спаду пульсової хвилі.

Дана формула дозволяє визначити в'язкість крові лише за пульсовою хвилею. В даний час проводиться експериментальна частина роботи. Для цього було залучено лікарню міста Коростень, яка погодилась надати відповідну медичну техніку для отримання даних.

Також була розроблена програма, яка дозволяє, отримавши зареєстровану пульсову хвилю, виділяти її основні параметри та за ними розраховувати показник гематокриту та в'язкості крові.

Отже, в подальшому, провівши експериментальні дослідження реєстрації пульсової хвилі та в'язкості крові у реальних осіб, існує можливість доведення залежності реологічних показників від параметрів пульсових сигналів.