

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ОСОБЛИВОСТЕЙ МІКРОЦИРКУЛЯЦІЇ КІНЦІВОК МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЇ ДОПЛЕРІВСЬКОЇ ФЛОУРОМЕТРІЇ

©П. О. Герасимчук, А. В. Чорномидз, П. В. Кісіль

ДВНЗ «Тернопільський державний медичний університет імені І. Я. Горбачевського»

РЕЗЮМЕ. Методом лазерної доплерівської флуорометрії вивчені особливості мікроциркуляції верхніх та нижніх кінцівок в нормі у 46 практично здорових людей. В порівнянні показані особливості механізмів контролю та регуляції мікроциркуляції.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: лазерна доплерівська флуорометрія, мікроциркуляція.

Вступ. В сучасній клінічній практиці все більшого значення набуває вивчення мікроциркуляції крові в тканинах. Стан кровотоку в мікроциркуляторному руслі передставляє значний інтерес в практичному значенні для встановлення індивідуальних особливостей патогенезу різних порушень кровообігу та їх впливу на перебіг патологічного процесу [1, 2]. Дослідження в даній сфері базуються на детальних знаннях морфофункціональних закономірностей функціонування кровоносних судин і розуміння патогенезу порушень кровотоку в них [3, 4].

Зміни мікроциркуляції крові досить різнопланові як за патогенезом, так і за клінічними проявами. Тому в клініці різних захворювань все більшого значення набуває діагностика мікроциркуляторних порушень з метою визначення оптимальних методів їх корекції. На сучасному етапі для дослідження мікроциркуляторного русла використовують радіоізотопний розподіл або метод кліренсу, флуоресцентну ангіографію, теплобачення, через-шкірне визначення насыщеності крові киснем, капілярроскопію з використанням флуоресцентних фарб або без них. В останні роки розроблені удосконалені методи лазерної доплерівської флуорометрії (ЛДФ) з комп’ютерною обробкою отриманих результатів і використанням різних функціональних проб, які дозволяють дослідити зміни мікроциркуляції та її регуляторні механізми. Це сприяло визнанню неінвазивного методу ЛДФ як найбільш інформативного, точного і відносно простого та зручного для дослідження мікроциркуляції [4,5].

Мета дослідження. Провести методом ЛДФ порівняльну оцінку особливостей мікроциркуляторного кровотоку на верхніх і нижніх кінцівках при використанні функціональних проб в нормі.

Матеріал і методи дослідження. В дослідженнях, після отримання інформативної згоди, взяли участь 46 практично здорових добровольців чоловічої статі віком від 19 до 24 років ($22,4 \pm 2,7$ роки), які не курять. За добу до дослідження виключалося вживання алкоголю, кави, інших тонізуючих напоїв та тяжке фізичне навантаження.

Дослідження кровотоку в шкірі проводили з допомогою одноканального комп’ютеризованого лазерного аналізатора «ЛАКК-02» («ЛАЗМА», Росія) в видимому червоному спектрі ($\lambda=630$ нм), що дозволяє оцінювати характеристики периферійної мікроциркуляції в 1 mm^3 шкіри. ЛДФ-метрію виконували в стандартних точках на передпліччі (середина лінії на 4 см вище основи шилоподібних відростків ліктьової та променевої кісток по внутрішній поверхні) та стопі (дистальна третина першого міжпальцевого проміжку) в стані фізіологічного спокою та при виконанні ортостатичної та оклюзійної проб. За 15 хвилин до обстеження досліджуваний займав горизонтальне положення з дотриманням фізичного та психоемоційного спокою, при кімнатній температурі $20\text{--}23^\circ\text{C}$. Досліджувана ділянка звільнялася від одягу. Результати досліджень оцінювалися спеціальною комп’ютерною програмою, яка входить до програмного забезпечення апарату та виражається у вигляді графіків та цифрових значень.

В ході дослідження визначали середні значення перфузії тканин та амплітудно-частотного спектра коливань перфузії до проведення оклюзійної проби та в період відновлення кровотоку після неї.

M – величина середнього потоку крові, або середньоарифметичний показник мікроциркуляції; σ – середнє коливання перфузії відносно середнього значення потоку крові M ; Kv (коєфіцієнт варіації) – співвідношення величин M і σ .

Розрахункові параметри M , σ і Kv дають загальну оцінку стану мікроциркуляції крові. Більш детальний аналіз функціонування мікроциркуляторного русла проводиться шляхом Вайвлет-аналізу амплітудно-частотного спектра коливань перфузії, які включають в себе активні – ендотеліальні (Ae), нейрогенні (An), міогенні (Am), та пасивні – дихальні (Ad), серцеві (Ac) складові. Також розраховували вклад кожного компонента в модуляцію мікрокровотоку за формулою $(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$ і в загальний рівень тканинної перфузії за формулою $(A_{max}/M) \cdot 100\%$.

Огляди літератури, оригінальні дослідження, короткі повідомлення

Окрім того аналізували нейрогенний тонус резистивних мікросудин (НТ), який відображає активність α -адренорецепторів мембрани ключових і частково гладком'язових клітин, міогенний тонус (МТ) метартеріол і прекапілярних сфинктерів, та показник шунтування (ПШ).

Оклузійна проба дозволяє вивчити резервні можливості мікроциркуляторного русла за приростом показників мікроциркуляції під час реактивної постоклюзійної гіперемії. З метою її проведення на відповідне плече (стегно) накладалася манжетка тонометра. Надалі проба проводилася за наступною схемою: 3-хвилинна реєстрація початкового рівня кровобігу, далі 2-хвилинна оклюзія (в манжетці створювався тиск 250 мм рт. ст.) після чого повітря з манжетки випускалося і протягом наступних

6 хвилин реєструвалися показники до повного відновлення кровотоку. За результатами оклюзійної проби аналізували наступні показники: $M_{\text{поч.}}$ – середнє значення мікроциркуляції, $M_{\text{мін.}}$ – показник мікроциркуляції в процесі оклюзії (біологічний нуль), $PIM_{\text{макс.}}$ – максимальне значення ПІМ в процесі розвитку реактивної постоклюзійної гіперемії, $M_{\text{віднов.}}$ – середні показники М після оклюзії, РКК – резерв капілярного кровотоку, $T_{\text{макс.}}$ – інтервал часу (в секундах) від зняття оклюзії до досягнення $PIM_{\text{макс.}}$, $T_{1/2}$ – час напіввідновлення (в секундах).

Результати й обговорення.

Результати досліджень мікроциркуляції на верхній та нижній кінцівках в нормі та після проведення оклюзійної проби (період відновлення кровотоку) представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Показники ЛДФ при проведенні оклюзійної проби

Показники	Передпліччя	Передпліччя (після проби)	Стопа	Стопа (після проби)
M (пф. од.)	$2,22 \pm 0,12$	$3,60 \pm 0,18$	$1,94 \pm 0,18$	$2,62 \pm 0,17$
σ (пф. од.)	$0,53 \pm 0,11$	$1,77 \pm 0,14$	$0,65 \pm 0,15$	$0,83 \pm 0,14$
Kv (%)	$24,41 \pm 2,17$	$50,35 \pm 4,42$	$42,60 \pm 3,85$	$44,16 \pm 3,94$
ϵ	A_{max}	$0,36 \pm 0,10$	$0,47 \pm 0,17$	$0,35 \pm 0,16$
	$(A_{\text{max}} / 3\sigma) \cdot 100\%$	$19,89 \pm 2,36$	$14,61 \pm 2,16$	$18,65 \pm 2,58$
	$(A_{\text{max}} / M\sigma) \cdot 100\%$	$14,44 \pm 2,85$	$21,62 \pm 3,02$	$23,45 \pm 2,97$
H	A_{max}	$0,35 \pm 0,09$	$0,72 \pm 0,12$	$0,37 \pm 0,11$
	$(A_{\text{max}} / 3\sigma) \cdot 100\%$	$21,62 \pm 2,06$	$14,13 \pm 2,13$	$19,04 \pm 2,14$
	$(A_{\text{max}} / M\sigma) \cdot 100\%$	$15,78 \pm 2,46$	$20,81 \pm 3,12$	$24,24 \pm 3,26$
M	A_{max}	$0,24 \pm 0,06$	$0,46 \pm 0,11$	$0,30 \pm 0,08$
	$(A_{\text{max}} / 3\sigma) \cdot 100\%$	$14,76 \pm 4,15$	$8,70 \pm 2,82$	$15,58 \pm 4,36$
	$(A_{\text{max}} / M\sigma) \cdot 100\%$	$10,64 \pm 2,97$	$12,93 \pm 3,12$	$23,71 \pm 3,86$
D	A_{max}	$0,08 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,07$	$0,18 \pm 0,06$
	$(A_{\text{max}} / 3\sigma) \cdot 100\%$	$4,70 \pm 2,86$	$3,06 \pm 1,82$	$8,91 \pm 2,16$
	$(A_{\text{max}} / M\sigma) \cdot 100\%$	$3,46 \pm 1,16$	$4,58 \pm 1,38$	$11,74 \pm 2,46$
C	A_{max}	$0,089 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,04$	$0,17 \pm 0,06$
	$(A_{\text{max}} / 3\sigma) \cdot 100\%$	$5,46 \pm 1,76$	$2,33 \pm 0,89$	$9,84 \pm 2,76$
	$(A_{\text{max}} / M\sigma) \cdot 100\%$	$3,95 \pm 1,12$	$3,58 \pm 1,21$	$11,64 \pm 2,84$
НТ (відн. од.)	$1,62 \pm 0,18$	$2,54 \pm 0,68$	$1,89 \pm 0,82$	$2,15 \pm 0,47$
МТ (відн. од.)	$2,47 \pm 0,75$	$4,02 \pm 0,65$	$2,39 \pm 0,46$	$3,34 \pm 0,42$
ПШ (відн. од.)	$1,60 \pm 0,18$	$1,76 \pm 0,17$	$1,31 \pm 0,14$	$1,60 \pm 0,28$

Аналіз наведених результатів дозволив констатувати, що після оклюзійної проби в період відновлення кровотоку спостерігається підвищення постійної складової кровотоку M як на кисті, так і на стопі, що може свідчити про зростання кровотоку у відповідь на постоклюзійну гіперемію. Підвищення перемінної складової мікроциркуляції (σ) вказує на зростання модуляції кровотоку, обумовлене інтенсифікацією функціонування механізмів активного та пасивного контролю мікроциркуляції. Також відмічено зростання показника Kv , що поряд з зростанням величин M і σ вказує на активацію ендотеліальної секреції, нейрогенного і міогенного механізмів контролю. Слід відмітити, що

на верхній кінцівці вказані показники більші, та вони більш активно реагують на постоклюзійну гіперемію, значно зростаючи після оклюзійної проби. Аналогічні спрямування відмічаються і при аналізі амплітудно-частотного спектра коливань перфузії активних та пасивних факторів, які більш виражені на верхній кінцівці.

Ендотеліальні коливання (активний фактор). Зростання амплітуди ендотеліальних коливань спостерігається як на верхній, так і на нижній кінцівках, що свідчить про збільшення секреції ендотелієм вазоактивних речовин, які регулюють переважно прекапілярну ланку (arterii, arteriole, прекапіляри). Однак, ці процеси більш вира-

жені на верхній кінцівці (зростання на 30,6 %) ніж на нижній (зростання на 17,1 %)

Нейрогенні коливання (активний фактор).

На верхній кінцівці зростання даного показника спостерігається на 105,7 %, на нижній – на 24,3 %. Цей показник характеризує регуляцію артеріолярного тонусу симпатичними вазоконстрикторними нервами. Збільшення показників відображає підвищення тонусу і жорсткості судинної стінки у відповідь на збільшений постоклюзійний кровотік, що запобігає застою крові та розвитку набряку тканин.

Міогенні коливання (активний фактор) –

зростають у обох досліджених зонах (91,7 % та 63,3 % відповідно). Підвищення міогенних коливань вказує на зниження периферійного опору в капілярній сітці і перерозподіл мікрокровобігу в бік покращення нутрітивного кровопостачання.

Дихальні коливання (пасивний фактор) –

характеризують в мікроциркуляторному руслі динаміку венозного тиску при легеневій активності. Збільшення даних показників (на 100,0 %) з одночасним зростанням М на верхніх кінцівках вказує на порушення венозного відтоку. На нижніх кінцівках реакція має протилежний характер (зниження на 11,1 %), що може бути спрямоване на запобігання розвитку набряків нижніх кінцівок у відповідь на зростання периферійного кровотоку.

Серцеві коливання (пасивний фактор) залежать від тонусу судин. Зменшення останніх на ниж-

ніх кінцівках на 11,8 % залежить від зниження притоку артеріальної крові в мікроциркуляторне русло, та підвищення тонусу судинної стінки. Хоча на верхній кінцівці відмічаються протилежні зміни – зростання серцевих коливань на 44,4 %.

Вклад кожного компонента в модуляцію мікрокровотоку і в загальний рівень тканинної перфузії має різноплановий характер. На верхній кінцівці спостерігається їх значення в модуляції кровотоку, в той час як внесок в загальний рівень тканинної перфузії зростає. На нижній кінцівці ці показники знижуються (табл. 1), відображаючи різні механізми регуляції мікрокровотоку.

З боку нейрогенного та міогенного тонусу відмічено їх зростання як на верхній (56,8 % та 62,7 % відповідно), так і на нижній кінцівках (13,8 % та 39,7 % відповідно). Ці показники пов’язані між собою, відображаючи реакцію тонусу судинної стінки на нейрогенну стимуляцію за рахунок активності симпатичних нервів вазоконстрикторів в період постоклюзійної гіпремії. Підвищення вищеозначеніх показників створює відповідні умови для перерозподілу кровопостачання в сторону покращення нутрітивного кровотоку. Це викликало незначне підвищення показників шунтування як на верхній (10,0 %) так і на нижній кінцівках (23,1 %).

Вивчення показників ЛДФ при проведенні оклюзійної проби дозволило встановити нормальні показники, які наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Показники оклюзійної проби

Показник	Передпліччя	Стопа
М поч. пф.од.	2,31±0,17	1,63±0,28
М мін. пф.од.	0,09±0,02	0,26±0,05
ПМ макс. пф.од.	8,01±1,27	3,43±1,12
М віднов. пф.од.	2,37±0,36	1,77±0,43
Δ М	2,22±0,29	1,37±0,38
РКК (%)	364,19±25,86	230,12±18,92
Тмакс, с.	12,1±2,9	18,4±3,7
T ½, с.	25,8±3,8	32,8±4,1

Аналіз отриманих результатів оклюзійної проби дозволяє зробити висновок, що судини мікроциркуляторного русла нижніх кінцівок мають дещо нижчі резерви щодо регуляції кровотоку в умовах постоклюзійної гіпремії. Це може впливати на реакцію мікроциркуляторного русла нижніх кінцівок на діючі фактори зовнішнього і внутрішнього середовища, створюючи сприятливі умови для розвитку на нижніх кінцівках патологічних процесів.

Висновки.

1. В нормі показники мікроциркуляції в більшій мірі залежать від активних факторів регуляції. На верхній кінцівці вони значно перевищують аналогічні показники на нижній кінцівці, що свідчить про різні фізіологічні особливості регуляції мікроциркуляторного кровобігу.

2. Мікроциркуляторне русло нижніх кінцівок має меншу здатність та знижену реактивність фізіологічних реакцій у відповідь на постоклюзійну гіпремію, що вказує на аналогічні тенденції у відповідь на зміни навколоишнього середовища та фізичні навантаження.

3. Знижені фізіологічні механізми регуляції мікрокровотоку на нижніх кінцівках можуть відігравати певну роль в формуванні ангіопатії нижніх кінцівок та впливати на перебіг патологічних процесів.

Перспективи подальших досліджень. Вивчення стану мікроциркуляторного русла при різних патологічних станах дозволить доповнити патогенетичні механізми їх формування та розробити нові ефективні схеми лікування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Старцева Ю. В. Комплексный подход к оценке состояния микроциркуляции у пациентов хирургической клиники / Ю. В. Старцева, Н. А. Сулимова // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2005. – № 1 (13). – С. 130–131.
2. Покровский А. В. Значение оценки состояния микроциркуляции в клинической практике / А. В. Покровский // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2004. – № 10 (3). – С. 3–4.
3. Козлов В. И. Механизм модуляции кровотока в системе микроциркуляции и его расстройство при гипертонической болезни / В. И. Козлов // в кн.: Применение лазерной доплеровской флюорометрии в медицинской практике. – М., 2000. – С. 5–15.
4. Лазерная доплеровская флюорометрия микроциркуляции крови / под ред. Крупинина А. И., Сидорова В. В. – М. : Медицина. – 2005. – 125 с.
5. Козлов В. И. Метод лазерной доплеровской флюорометрии: пособие для врачей / В. И. Козлов. – М., 2001. – С. 22.

**COMPARATIVE EVALUATION OF CHARACTERISTICS OF THE LIMBS
MICROCIRCULATION BY THE METHOD OF LASER DOPPLER FLOWMETRY**

©Р. О. Herasymchuk, A. V. Chornomydz, P. V. Kysil

SHEI "Ternopil State Medical University by I. Ya. Horbachevsky"

SUMMARY. We studied the peculiarities of microcirculation of the upper and lower limbs by the method of laser Doppler flowmetry in 46 people in a good health. In comparison there are shown the features of control and regulation mechanism of microcirculation.

KEY WORDS: laser Doppler flowmetry, microcirculation.