

УДК 616.127-073.916

## СЦИНТИГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ МИОКАРДИАЛЬНОГО КРОВОТОКА

Кривоногов Н.Г., Минин С.М., Крылов А.Л., Лишманов Ю.Б.

НИИ кардиологии СО РАМН, г. Томск

### РЕЗЮМЕ

Цель исследования – предложить и апробировать скintiграфическую методику количественной оценки миокардиального кровотока с использованием отечественного радиофармпрепарата  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрила.

В исследование включены 12 больных (мужчины в возрасте  $(58,8 \pm 4,8)$  года) с диагнозом «ишемическая болезнь сердца, стенокардия напряжения I–III функционального класса». Для количественного определения миокардиального кровотока всем пациентам были проведены сравнительные скintiграфические исследования с  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрилом ( $^{99m}\text{Tc}$ -ТНЛ) и с интравентрикулярно введенными  $^{99m}\text{Tc}$ -макроагрегатами альбумина человеческой сыворотки крови ( $^{99m}\text{Tc}$ -МАО). Полученные результаты показали, что коронарная фракция аккумуляции  $^{99m}\text{Tc}$ -ТНЛ и количественные показатели миокардиального кровотока, вычисленные по данным скintiграфии с использованием этого радиофармпрепарата, статистически значимо коррелируют со значениями коронарного кровотока, определенными при помощи сканирования с  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ишемическая болезнь сердца, скintiграфия миокарда, миокардиальный кровоток,  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрил,  $^{99m}\text{Tc}$ -макроагрегаты альбумина.

### Введение

Общепризнанным критерием гемодинамической значимости стеноза коронарной артерии является уменьшение ее просвета на величину, равную или превышающую 75% от площади поперечного сечения [1, 15]. Некоторые авторы ориентируются при этом на величину сужения диаметра артерии [12, 14]. В то же время известно, что в случаях умеренно выраженного снижения диаметра коронарных артерий (на 50–70%) встречаются значительные расхождения в анатомической и функциональной оценках выраженности стеноза [11, 16, 19]. Неоспорим и тот факт, что выбор способа лечения в большей степени зависит именно от функциональной характеристики выявленного коронарного стеноза [1, 10]. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка доступных методов количественного расчета миокардиального кровотока (МК).

Наиболее точным неинвазивным методом количественного определения МК считается в настоящее время позитронная эмиссионная томография (ПЭТ) [8,

17]. Однако высокая себестоимость такого рода исследований, а также потребность в дорогостоящей аппаратуре и специализированном программном обеспечении ограничивают их широкое использование в клинической практике [13].

Более доступным и в то же время высокочувствительным способом оценки коронарного кровообращения считается перфузионная скintiграфия миокарда [2, 10]. Однако данный метод имеет определенные ограничения, связанные с полуколичественным характером получаемой информации, когда накопление радиофармпрепарата (РФП) в том или ином участке сердечной мышцы оценивают в процентах по отношению к сектору с максимальной аккумуляцией индикатора [3]. Такой подход в ряде случаев становится причиной получения ложноотрицательных заключений при многосудистом или диффузном поражении коронарного русла. Это обусловлено равномерным снижением интенсивности захвата индикатора всеми отделами миокарда и отсутствием в связи с этим локальных дефектов перфузии. К сожалению, в литературе встречаются лишь единичные публикации, посвященные методическим приемам количественного определения МК

✉ Минин Станислав Михайлович, тел. 8 (382-2) 55-82-98;  
e-mail: minin@cardio.tsu.ru

с использованием перфузионной гамма-сцинтиграфии [9, 23].

Цель исследования – предложить и апробировать сцинтиграфическую методику количественного определения миокардиального кровотока с использованием отечественного радиофармпрепарата  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрила.

## Материал и методы

В исследование включены 12 больных (мужчины в возрасте  $58,8 \pm 4,8$  года) с диагнозом «ишемическая болезнь сердца, стенокардия напряжения I–III функционального класса». Пациенты находились на лечении в отделении сердечной недостаточности НИИ кардиологии СО РАМН (г. Томск). Диагноз верифицировали на основании комплексного клинико-инструментального обследования, включавшего динамическое наблюдение, развернутое биохимическое исследование крови, анализ ЭКГ, эхокардиографию, велоэргометрию и коронаровентрикулографию по методу Judkins.

Сцинтиграфические исследования были проведены на гамма-камерах «Омега-500» (Technicare, США – Германия) и Philips-Forte (Голландия).

Для выполнения радионуклидной ангиопульмонографии (РАПГ) в локтевую вену пациента под детектором гамма-камеры, установленным в переднепрямой проекции, болюсно в объеме 0,5–1,0 мл вводили 555 МБк  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрила ( $^{99m}\text{Tc}$ -ТНЛ) – препарата для проведения перфузионной сцинтиграфии миокарда, являющегося аналогом известного препарата  $^{99m}\text{Tc}$ -метоксиизобутилизонитрила ( $^{99m}\text{Tc}$ -МИБИ). Регистрацию сцинтиграфических изображений осуществляли в матрицу  $64 \times 64$  пикселя по следующему алгоритму: первоначально записывали 40 или 80 кадров с экспозицией соответственно 1 или 2 кадра в секунду, затем 10 сцинтиграфических изображений со скоростью

1 кадр в минуту. Во избежание ошибок, связанных с «залипанием» РФП в системе верхней полой вены, проводили контроль прохождения радиоактивного болюса путем построения кривой «активность – время» в зоне интереса над областью правой подключичной вены.

Для определения полуколичественных показателей нарушения миокардиальной перфузии через 80 мин после РАПГ проводили ОФЭКТ. Исследование начинали с правой передней косой проекции (РАО-45°). Регистрацию сцинтиграфических изображений осуществляли в матрицу  $64 \times 64$  пикселя. Время экс-

позиции на одну позицию составило 25 с, общее число проекций – 32.

В качестве альтернативного метода оценки коронарного кровотока использовали сцинтиграфию миокарда с  $^{99m}\text{Tc}$ -макроагрегатами альбумина ( $^{99m}\text{Tc}$ -МАО) человеческой сыворотки, которые вводили через катетер, установленный в полость левого желудочка сердца в процессе проведения плановой рентгеноконтрастной коронароангиографии [6]. Готовый радиофармпрепарат содержал 1,0–1,5 млн  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО в 5 мл изотонического раствора. Через 20 мин после введения РФП проводили регистрацию сцинтиграммы в режиме «все тело», после чего определяли уровень сцинтилляционного счета в зоне интереса, соответствующей области сердца.

Сцинтиграфические данные обработаны с использованием компьютерной системы «Сцинти» производства НПО «Гелмос» (Россия) и Jet Stream Workspace Release 2.5 фирмы Philips (Голландия).

Радионуклидные исследования были согласованы с этическим комитетом НИИ кардиологии СО РАМН, а у больных получено информированное согласие.

Полученные результаты проанализированы статистически при помощи пакета прикладных программ SPSS Statistica 17.0. Для оценки взаимосвязи полученных результатов вычисляли коэффициент линейной корреляции Пирсона.

## Результаты

Для сцинтиграфического определения величины миокардиального кровотока была предложена и апробирована оригинальная методика обработки результатов РАПГ, включавшая в себя суммирование посекундных кадров, соответствующих первому прохождению болюса  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрила, и определение максимальной амплитуды кривой «активность – время» (имп./с) в зоне интереса, совпадающей с пределами поля видения детектора гамма-камеры. Последний показатель принимали в качестве характеристики введенной активности РФП (рис. 1). Затем на одном из поминутных кадров с наилучшим сцинтиграфическим изображением сердца обводили миокард левого желудочка (ЛЖ) и количественно оценивали радиоактивность зафиксированного миокардом РФП как минимальную амплитуду кривой в зоне интереса над областью сердца (имп./мин) (рис. 2).

Коронарную фракцию аккумуляции  $^{99m}\text{Tc}$ -технетрила ( $\text{КФ}_{\text{ТНЛ}}$ ) рассчитывали как соотношение скорости сцинтилляционного счета над областью сердца (См) и сцинтилляционным счетом со всего поля виде-

ния детектора гамма-камеры (введенная доза – Св), выраженное в процентах:

$$КФ_{ТНЛ} = С_{м}/С_{в} \cdot 100.$$

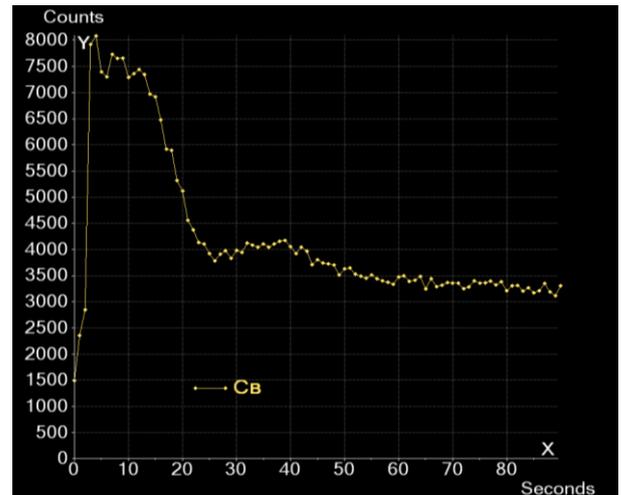
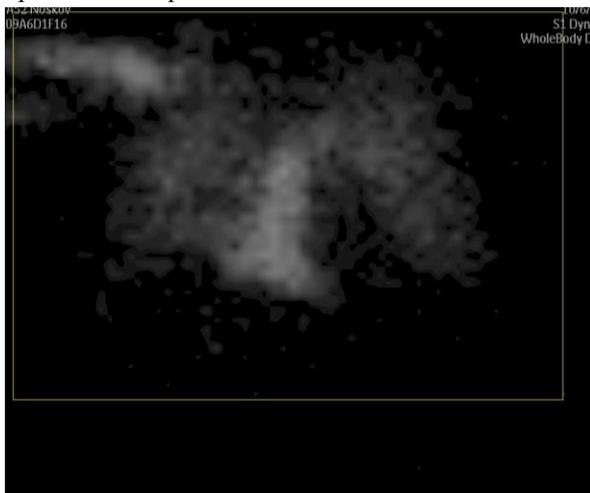


Рис. 1. Способ расчета введенной активности <sup>99m</sup>Tc-технетрила

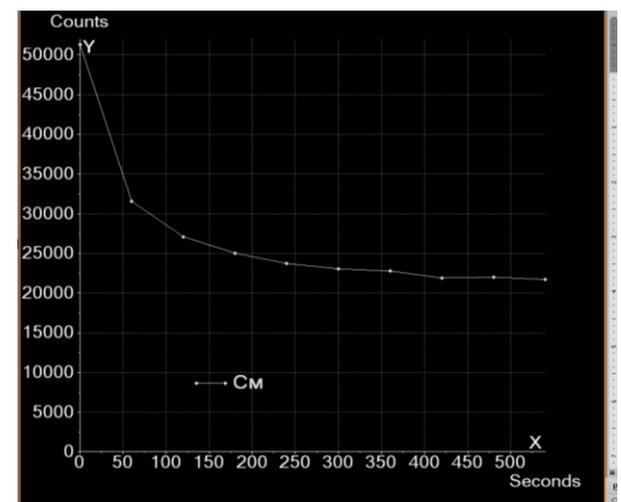
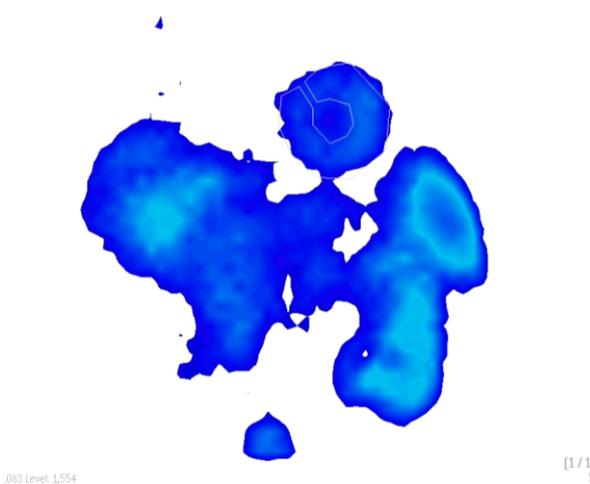


Рис. 2. Способ расчета аккумулированного РФП миокардом

Полученные показатели  $КФ_{ТНЛ}$  сравнивали с истинными значениями коронарной фракции сердечного выброса ( $КФСВ$ ), вычисленными известным способом [6] по данным сцинтиграфии миокарда с <sup>99m</sup>Tc-МАО (в процентах) (рис. 3):

$$КФСВ = С_{м}/С_{в} \cdot 100,$$

где  $С_{м}$  – уровень сцинтиляционного счета в зоне интереса над областью сердца;  $С_{в}$  – уровень сцинтиляционного счета над всем телом (введенная доза <sup>99m</sup>Tc-МАО).

Результаты сравнительных исследований представлены в таблице. Установлено, что коронарная фракция аккумуляции <sup>99m</sup>Tc-технетрила с высокой степенью достоверности коррелирует с величиной

коронарной фракции сердечного выброса, вычисленной при помощи сцинтиграфии с <sup>99m</sup>Tc-МАО. Такая корреляционная связь полученных результатов позволила предложить количественное определение миокардиального кровотока (мл/мин) с помощью <sup>99m</sup>Tc-ТНЛ аналогично количественному определению коронарного кровотока по известной линейной формуле [20]:

$$МК = МО \cdot КФ_{ТНЛ},$$

где  $МО$  – минутный объем сердечного выброса, определенный в данном случае с помощью РАПГ (можно любым другим способом).

Сопоставление полученных количественных показателей миокардиального кровотока, вычисленного

при помощи сцинтиграфии с  $^{99m}\text{Tc}$ -ТНЛ, и коронарного кровотока, сцинтиграфически определенного с применением  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО, не выявило статистически значимых различий между ними.

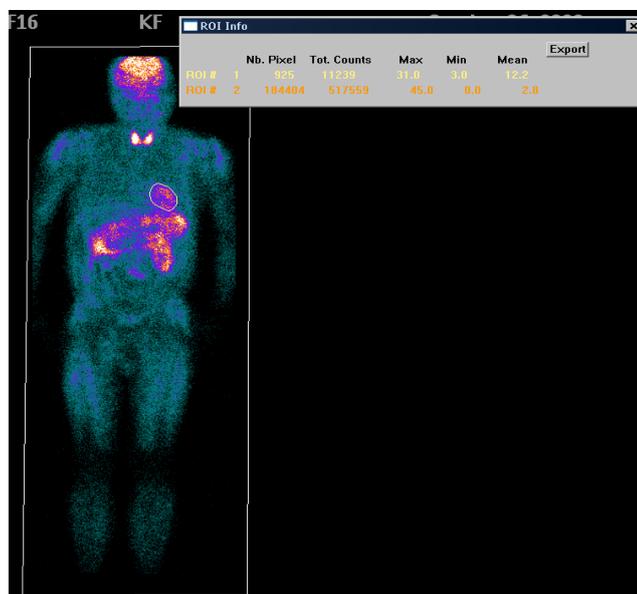


Рис. 3. Способ расчета коронарного кровотока с помощью  $^{99m}\text{Tc}$ -МАО

## Обсуждение

Известно, что ПЭТ с  $^{15}\text{H}_2\text{O}$  позволяет наиболее объективно рассчитать абсолютные значения миокардиального кровотока [5], так как экстракция воды клетками миокарда прямо пропорциональна объему крови, протекающей через миокард (коэффициент экстракции равен 1). Однако группой японских исследователей [22, 23], работающих в этом направлении, был разработан и предложен сцинтиграфический способ количественного определения миокардиального кровотока с использованием  $^{99m}\text{Tc}$ -sestamibi. Окончательный расчет производился по известной формуле

$$\text{MBF} = \text{CO} \cdot \text{Cm}/\text{total ID},$$

где MBF – миокардиальная фракция сердечного выброса; CO – ударный объем; Cm – счет импульсов за 1 мин с области сердца в передней прямой проекции через 5 мин после инъекции РФП; total ID – счет импульсов введенной дозы за 1 мин.

При сравнении количественных характеристик МК, определенного таким способом, и результатов, полученных при помощи ПЭТ, была выявлена их хорошая линейная корреляционная взаимосвязь. Подобные результаты получены и другими исследователями [18, 21].

В обзорной статье А. Суосою и соавт. [9], посвященной неинвазивным способам определения коро-

### Сравнительные показатели миокардиального и коронарного кровотока

Порядковый номер пациента	КФСВ, %	КФ <sub>ТНЛ</sub> , %	КК <sub>МАО</sub> , мл/мин	МК <sub>ТНЛ</sub> , мл/мин
1	2,20	2,34	106,57	100,09
2	2,39	2,50	118,43	113,21
3	2,50	2,57	105,00	113,75
4	1,90	1,89	75,09	75,41
5	2,57	2,31	69,90	81,31
6	2,79	2,57	75,68	82,43
7	2,17	2,33	105,00	111,34
8	1,98	2,09	105,51	110,18
9	2,07	2,15	85,25	82,08
10	1,95	2,10	76,40	70,66
11	2,23	2,19	84,61	85,79
12	2,44	2,31	99,32	89,06
<i>M ± m</i>	2,27 ± 0,21	2,26 ± 0,27	92,23 ± 16,14	93,94 ± 12,22
<i>r</i>	0,85 ( <i>p</i> < 0,01)		0,91 ( <i>p</i> < 0,01)	

Примечание. *M ± m* – среднее и стандартное отклонение; *r* – корреляционная взаимосвязь.

нарного резерва, также обсуждается и положительно оценивается концепция количественного вычисления миокардиального кровотока по данным СПЕКТ с  $^{99m}\text{Tc}$ -sestamibi. В этой статье говорится, что данный способ может с успехом конкурировать с другими методами (ПЭТ, доплеровское сканирование) в оценке коронарного резерва, несмотря на некоторое занижение количественных показателей МК при высокой скорости коронарного кровотока.

## Заключение

Таким образом, предлагаемый способ сцинтиграфической оценки миокардиального кровотока с помощью  $^{99m}\text{Tc}$ -ТНЛ является объективным, простым и воспроизводимым методом количественного определения миокардиального кровотока.

### Литература

1. Комитет экспертов Всероссийского научного общества кардиологов. Диагностика и лечение стабильной стенокардии. Российские рекомендации / под ред. Е.И. Чазова // Кардиоваск. тер. и проф. Прил. М., 2004.
2. Лишманов Ю.Б., Ефимова И.Ю., Чернов В.И. и др. Сцинтиграфия как инструмент диагностики, прогнозирования и мониторинга лечения болезней сердца // Сиб. мед. журн. 2007. Т. 3. С. 74–77.
3. Лишманов Ю.Б., Чернов В.И. Радионуклидная диагностика для практических врачей. Томск: STT, 2004. 394 с.
4. Минин С.М. Сравнительная оценка ОЭКТ и планарной

- ЭКГ-синхронизированной скintiграфии сердца с <sup>99m</sup>Tc-тетрофосмином в диагностике жизнеспособного миокарда у больных хронической ИБС // Сиб. мед. журн. 2005. Т. 20, № 2. С. 144.
5. Рыжкова Д.В., Нифонтов Е.М., Тютин Л.А. Позитронная эмиссионная томография как метод неинвазивной оценки миокардиального кровотока и коронарного резерва у пациентов с сердечно-сосудистой патологией // Артериальная гипертензия. 2006. Т. 2, № 3. С. 200–211.
  6. Чорголиани Т.Н. Количественное определение коронарного кровотока с помощью меченых микросфер альбумина: дис. ... канд. мед. наук. М., 1987. 210 с.
  7. Barbato E., De Bruyne B., MacCarthy P. et al. Functional assessment of coronary atherosclerosis in the catheterization laboratory: the key role of fractional flow reserve // Ital. Heart. J. 2005. № 6. P. 549–556.
  8. Clark A.N., Beller G.A. The present role of nuclear cardiology in clinical practice // Q. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. 2005. № 49. P. 43–58.
  9. Cuocolo A., Petretta M., Soricelli A. Measurement of coronary flow reserve by noninvasive cardiac imaging // Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. 2010. V. 37. C. 1198–1202.
  10. Di Carli M., Czenin J., Hoh C.K. et al. Relation among stenosis severity, myocardial blood flow, and flow reserve in patients with coronary artery disease // Circulation. 1995. V. 91. P. 1944–1951.
  11. Feldman R.L., Nichols W.W., Pepine C.J. et al. Hemodynamic significance of the length of a coronary arterial narrowings // Am. J. Cardiol. 1978. V. 41. P. 865–871.
  12. Fischer J.J., Samady H., Mc Pherson J.A. et al. Comparison between visual assessment and quantitative angiography versus fractional flow reserve for native coronary narrowings of moderate severity // Am. J. Cardiol. 2002. V. 90. P. 205–210.
  13. Gengel F.M., Higuchi T., Javadi M.S., Lautamäki R. Cardiac Positron Emission Tomography // J. Am. Coll. Cardiol. 2009. № 54. P. 1–15.
  14. Gould K.L., Lipscomb K., Hamilton G.V. et al. Physiologic basis for assessing critical coronary stenosis: instantaneous flow response and regional distribution during coronary hyperemia as measures of coronary flow reserve // Am. J. Cardiol. 1974. V. 33. P. 87–94.
  15. Gould K.L. Quantification of coronary artery stenosis *in vivo* // Circ. Res. 1985. 57. P. 341–353.
  16. Heller L.I., Gates C., Popma J. et al. Intracoronary Doppler assessment of moderate coronary artery disease: comparison with <sup>201</sup>Tl imaging and coronary angiography. FACTS study group // Circulation. 1997. V. 96. P. 484–490.
  17. Hutchins G.D., Schwaiger M., Rosenspire K.C. et al. Noninvasive quantification of regional blood flow in the human heart using N-13 ammonia and dynamic positron emission tomographic imaging // J. Am. Coll. Cardiol. 1990. V. 15. P. 1032–1042.
  18. Marini C., Bezante G., Gandolfo P. et al. Optimization of flow reserve measurement using SPECT technology to evaluate the determinants of coronary microvascular dysfunction in diabetes // Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. 2010. V. 37. P. 357–367.
  19. Okayama H., Sumimoto T., Hiasa G. et al. Assessment of intermediate stenosis in the left anterior descending coronary artery with contrast-enhanced transthoracic Doppler echocardiography // Coron. Artery. Dis. 2003. № 14. P. 247–254.
  20. Sapirostein L.A. Regional blood flow by fractional distribution of indicators // Am. J. Physiol. 1958. № 193. P. 161.
  21. Storto G., Cirillo P., Vicario M.L. et al. Estimation of coronary flow reserve by Tc-99m sestamibi imaging in patients with coronary artery disease: comparison with the results of intracoronary Doppler technique // J. Nucl. Cardiol. 2004. V. 11 (6). P. 682–688.
  22. Taki J., Fujino S., Nakajima K. et al. (99m)Tc-sestamibi retention characteristics during pharmacologic hyperemia in human myocardium: comparison with coronary flow reserve measured by Doppler flowwire // J. Nucl. Med. 2001. V. 42. P. 1457–1463.
  23. Tsukamoto T., Ito Y., Noriyasu K. et al. Quantitative Assessment of Regional Myocardial Flow Reserve Using Tc-99m-Sestamibi Imaging Comparison With Results of O-15 Water PET // Circulation J. 2005. V. 69. P. 188–193.

Поступила в редакцию 06.03.2013 г.

Утверждена к печати 10.04.2013 г.

**Кривоногов Николай Георгиевич** – д-р мед. наук, профессор НИИ кардиологии СО РАМН (г. Томск).

**Минин Станислав Михайлович** (✉) – канд. мед. наук, НИИ кардиологии СО РАМН (г. Томск).

**Крылов Александр Любомирович** – д-р мед. наук, НИИ кардиологии СО РАМН (г. Томск).

**Лишманов Юрий Борисович** – д-р мед. наук, профессор, член-корреспондент РАМН, НИИ кардиологии СО РАМН (г. Томск).

✉ **Минин Станислав Михайлович**, тел. 8 (382-2) 55-82-98; e-mail: minin@cardio.tsu.ru

## RADIONUCLIDE QUANTITATIVE IN ASSESSMENT OF MYOCARDIAL BLOOD FLOW

**Krivanogov N.G., Minin S.M., Krylov A.L., Lishmanov Yu.B.**

*Institute of Cardiology of SB RAMS, Tomsk, Russian Federation*

### ABSTRACT

The aim of this study were to develop a radionuclide method for quantitative estimation of the myocardial blood flow (MBF). Twelve patients with suspected coronary artery disease underwent both Tc-99m-methoxyisobutylisonitrile (MIBI) imaging and coronary arterial injection of Tc-99m-radioalbumin macroaggregates (MAA). The myocardial uptake and MBF obtained using radionuclide angiography and relative distributions of Tc-99m-MIBI were compared with the obtained using whole body with MAA as the gold standard. The myocardial uptake and MBF measured by MIBI imaging showed a good

linear correlation with the myocardial uptake and MBF measured by MAA. These results indicate that MBF may be estimated by Tc-99m-MIBI imaging and can be used for the early detection and estimation of the functional severity of coronary lesions.

**KEY WORDS:** coronary artery disease, radionuclide imaging, myocardial blood flow, Tc-99-MIBI, Tc-99m-radioalbumin macroaggregates.

*Bulletin of Siberian Medicine*, 2013, vol. 12, no. 3, pp. 111–116

### References

1. Committee of Experts Russian Society of Cardiology. *Diagnosis and treatment of stable angina. Russian recommendations*. Ed. E.I. Chazov. Cardiovasc. ter. and prof. Appendix. Moscow, 2004, pp. 3–19 (in Russian).
2. Lishmanov Yu.B., Efimova I.Y., Chernov V.I. et al. *The Siberian Medical Journal*, 2007, vol. 3, pp. 74–77 (in Russian).
3. Lishmanov Yu.B., Chernov V.I. *Nuclear medicine for practicing physicians*. Tomsk, STT Publ., 2004. 394 p. (in Russian).
4. Minin S.M. *The Siberian Medical Journal*, 2005, vol. 20, no. 2, pp. 144.
5. Ryzhkova D.V., Nifontov E.M., Tyutin L.A. *Hypertension*, 2006, vol. 12, no. 3, pp. 200–211.
6. Chorgoliani T.N. Quantification of coronary blood flow with labeled albumin microspheres: author. dis. cand. med. sci. Moscow, 1987. 24 p.
7. Barbato E., De Bruyne B., MacCarthy P. et al. Functional assessment of coronary atherosclerosis in the catheterization laboratory: the key role of fractional flow reserve. *Ital. Heart. J.*, 2005, no. 6, pp. 549–556.
8. Clark A.N., Beller G.A. The present role of nuclear cardiology in clinical practice // *Q. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 2005, no. 49, pp. 43–58.
9. Cuocolo A., Petretta M., Soricelli A. Measurement of coronary flow reserve by noninvasive cardiac imaging. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 2010, vol. 37, pp. 1198–1202.
10. Di Carli M., Czenin J., Hoh C.K. et al. Relation among stenosis severity, myocardial blood flow, and flow reserve in patients with coronary artery disease. *Circulation*, 1995, vol. 91, pp. 1944–1951.
11. Feldman R.L., Nichols W.W., Pepine C.J. et al. Hemodynamic significance of the length of a coronary arterial narrowings. *Am. J. Cardiol.*, 1978, vol. 41, pp. 865–871.
12. Fischer J.J., Samady H., Mc Pherson J.A. et al. Comparison between visual assessment and quantitative angiography versus fractional flow reserve for native coronary narrowings of moderate severity. *Am. J. Cardiol.*, 2002, vol. 90, pp. 205–210.
13. Gengel F.M., Higuchi T., Javadi M.S., Lautamäki R. Cardiac Positron Emission Tomography. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2009, no. 54, pp. 1–15.
14. Gould K.L., Lipscomb K., Hamilton G.V. et al. Physiologic basis for assessing critical coronary stenosis: instantaneous flow response and regional distribution during coronary hyperemia as measures of coronary flow reserve. *Am. J. Cardiol.*, 1974, 33, pp. 87–94.
15. Gould K.L. Quantification of coronary artery stenosis *in vivo*. *Circ. Res.*, 1985, 57, pp. 341–353.
16. Heller L.I., Gates C., Popma J. et al. Intracoronary Doppler assessment of moderate coronary artery disease: comparison with <sup>201</sup>Tl imaging and coronary angiography. FACTS study group. *Circulation*, 1997, 96, pp. 484–490.
17. Hutchins G.D., Schwaiger M., Rosenspire K.C. et al. Noninvasive quantification of regional blood flow in the human heart using N-13 ammonia and dynamic positron emission tomographic imaging. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 1990, 15, pp. 1032–1042.
18. Marini C., Bezante G., Gandolfo P. et al. Optimization of flow reserve measurement using SPECT technology to evaluate the determinants of coronary microvascular dysfunction in diabetes. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 2010, 37, pp. 357–367.
19. Okayama H., Sumimoto T., Hiasa G. et al. Assessment of intermediate stenosis in the left anterior descending coronary artery with contrast-enhanced transthoracic Doppler echocardiography. *Coron. Artery. Dis.*, 2003, 14, pp. 247–254.
20. Sapirostein L.A. Regional blood flow by fractional distribution of indicators, *Am. J. Physiol.*, 1958, 193, p. 161.
21. Storto G., Cirillo P., Vicario M.L. et al. Estimation of coronary flow reserve by Tc-99m sestamibi imaging in patients with coronary artery disease: comparison with the results of intracoronary Doppler technique. *J. Nucl. Cardiol.*, 2004, 11 (6), pp. 682–688.
22. Taki J., Fujino S., Nakajima K. et al. (99m)Tc-sestamibi retention characteristics during pharmacologic hyperemia in human myocardium: comparison with coronary flow reserve measured by Doppler flowwire. *J. Nucl. Med.*, 2001, 42, pp. 1457–1463.
23. Tsukamoto T., Ito Y., Noriyasu K. et al. Quantitative Assessment of Regional Myocardial Flow Reserve Using Tc-99m-Sestamibi Imaging Comparison With Results of O-15 Water PET. *Circulation J.*, 2005, 9, pp. 188–193.

**Krivoногоv Nikolai G.**, Institute of Cardiology of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences, Tomsk, Russian Federation.

**Minin Stanislav M.** (✉), Institute of Cardiology of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences, Tomsk, Russian Federation.

**Krillov Aleksandr Yu.**, Institute of Cardiology of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences, Tomsk, Russian Federation.

**Lishmanov Yury B.**, Institute of Cardiology of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences, Tomsk, Russian Federation.

✉ **Minin Stanislav M.**, Ph. +7 (382-2) 55-82-98; e-mail: minin@cardio.tsu.ru