

## 60-летие доплерографии в медицине

**А.В. Коваленко, Б.А. Тарасюк,  
И.Н. Дыкан, И.В. Андрущенко,  
С.Г. Мазур**

ДУ «Институт ядерной медицины и  
лучевой диагностики НАМН Украины»

В этом году отмечается 60-летие использования доплерографии в медицине.

Прогресс в медицине в значительной степени зависит от технологических разработок в других научных областях. Использование эффекта Доплера в ультразвуковой диагностике является ярким примером такой взаимосвязи – физики и медицины.

Сдвиг частоты волн (световых и звуковых) при отражении от движущегося источника был обнаружен в 1842 г. австрийским профессором математики и физики К.А. Допплером (1803-1853 гг.) (рис. 1).



**Рис. 1.** К. Допплер (1803-1853).

Кристиан Допплер родился 29 ноября 1803 г. в Зальцбурге в семье Иоганна и Терезы Допплеров. У них было пятеро детей: Иоганн, Катарина, Терезия, Кристиан и Анна. Отец Допплера был каменотесом и занимался поставкой мраморных плит и алтарей в Аугсбург, Мюнхен, Линц, Вену и Штирию, а также для резиденции Людвига I Баварского. Кристиан рос в среде каменщиков и с ранних лет учился этому ремеслу. В детстве Допплер посещал начальную школу в Зальцбурге и среднюю школу в Линце, во время учебы в которых проявил выдающиеся способности к математике. В 1822-1825 гг. Допплер,

по рекомендации профессора математики Зальцбургского лицея, учился в Венском политехническом институте.

В 1825 году он вернулся в родной Зальцбург и прослушал курс лекций по философии в местном лицее. Около года Допплер зарабатывал на жизнь уроками физики и математики в колледже Святого Руперта, после чего изучал высшую математику, механику и астрономию в Венском университете.

В 1829 г. Допплер получил должность ассистента профессора высшей математики и механики Венского университета Адама фон Берга. За время работы в Венском университете он опубликовал 4 статьи по математике, первая из которых называлась «Вклад в теорию параллелей». В университете Допплер так и не смог получить академическую должность и начал поиски другого места работы. Он подавал заявления в институты Линца, Любляны, Вены, Цюриха, Праги, однако ему было отказано. С 1833 г. ученый в течение полутора лет работал клерком на хлопчатобумажной фабрике в Зальцбурге. Из-за невозможности профессиональной реализации Допплер решил эмигрировать в Соединённые Штаты Америки и обратился к американскому консулу в Мюнхене с вопросами о возможности эмиграции и преподавательской деятельности в США. В это же время он получил два предложения в Европе и принял одно из них.

30 апреля 1835 г. Допплер стал учителем элементарной математики и вычислений в Государственной средней школе в Праге. Помимо работы в школе, с 1836 г. Допплер начал преподавать по несколько часов в неделю в Пражском политехническом институте. В период с 1835 по 1841 гг. Допплер проводил много времени в тесных и душных аудиториях, где читал лекции примерно 400 студентам. Современники полагали, что именно в эти годы он заболел лёгочным туберкулезом, от которого впоследствии умер [1].

В марте 1841 года Допплер получил должность профессора практической геометрии и элементарной математики в Пражском политехническом институте. Несмотря на состояние здоровья

и изматывающую преподавательскую деятельность, Допплер продолжал интенсивно заниматься наукой. Его научные интересы лежали в таких областях физики как оптика и акустика.

25 мая 1842 г. на заседании отделения естественных наук Королевского научного общества Богемии в Праге он представил статью, которая впоследствии сделала его широко известным, «О цветном свете двойных звезд и некоторых других звезд на небесах». Эта статья была опубликована в трудах Общества в следующем году. Исходя из собственных наблюдений за волнами на воде, Допплер предположил, что подобные явления происходят в воздухе с другими волнами. На основании волновой теории он вывел, что приближение источника света к наблюдателю увеличивает наблюдаемую частоту, отдаление – уменьшает её. Допплер теоретически обосновал зависимость частоты звуковых и световых колебаний, воспринимаемых наблюдателем, от скорости и направления движения источника волн и наблюдателя относительно друг друга [4]. Это явление впоследствии было названо его именем – эффектом Допплера.

Вскоре после представления своей статьи Допплер был избран членом Королевского научного общества Богемии. В 1847 г. ему было присвоено почётное звание доктора Пражского университета, а в 1848 г. он был избран членом Австрийской академии наук. В том же году Допплер переехал в Вену и занял должность профессора практической геометрии Политехнического института. Указом Императора Франца Иосифа I от 17 января 1850 года он был назначен первым директором нового Института физики Венского университета. Одним из студентов Допплера во время работы в Вене был Грегор Иоганн Мендель – аспирант и монах Августинского аббатства Святого Томаша в Брюнне (ныне Брно, Чехия), будущий основоположник учения о наследственности. В 1850-51 годах Мендель два семестра посещал лекции и частные уроки Допплера по физике.

В ноябре 1852 г. Допплер переехал в Венецию, воздух которой в то время рекомендовался людям с лёгочными заболеваниями. Несмотря на плохое самочувствие, Допплер продолжал работать. После пяти месяцев болезни 17 марта 1853 г. Кристиан Допплер скончался от туберкулеза. Он был похоронен на кладбище на острове Сан-Микеле. К концу лета 1853 г. с разрешения городских властей на галерее кладбища ему был установлен памятник.

В честь Допплера назван открытый им физический эффект и использующие его технологии и

измерительные приборы – доплерография, доплер-аппараты, доплеровский радар, доплеровский измеритель, акустический доплеровский измеритель течения (ADCP), доплеровский измеритель скорости и сноса (ДИСС), лазерный доплеровский анемометр и другие.

Существует ряд научных лабораторий имени Допплера, например, в Кембридже, Венском университете, университете Зальцбурга. В Австрии открыта исследовательская ассоциация имени Кристиана Допплера, осуществляющая кооперацию между научной и бизнес сферами, а также поддержку лабораториям имени Кристиана Допплера. В Зальцбурге – родном городе ученого – есть больница, площадь и мост имени Допплера. Известный производитель шоколада Fürst (изобретатель конфет «Моцарткугель») выпускает конфеты «DopplerKonfekt». В Венском университете установлен памятник Допплеру. В 1970 г. Международный астрономический союз назвал именем Кристиана Допплера кратер на обратной стороне Луны.

Различные приложения – от теории Вселенной до военных гидролокаторов – были основаны на эффекте Допплера, но, по крайней мере, до середины XX-го века никто не мог предсказать его огромный вклад в медицину в недалеком будущем. Первое применение Допплер-эффекта в медицине включало в себя измерение различий во времени пробега между двумя потоками ультразвуковых волн. Исследования по клиническому использованию принципа Допплера проводились одновременно во всем мире учеными различных стран. Первоначальное применение этого принципа относится к работе Kalmus, который выполнил свой электронный расходомер в 1954 г. Shigeo Satomura (1919-1960 гг.) (рис.2), физик из университета г. Осака (Япония), также явился пионером использования принципа Допплера в ультразвуке.



Рис. 2. Шигео Сатомура (1919-1960).

Shigeo Satomura родился в 1919 г. в г. Осака. Окончил Школу физики в родном городе, получил докторскую степень в 1944 г. После этого он начал работать в Университетском институте науки и промышленных исследований, где он был назначен на должность доцента в 1952 г. и стал участвовать в промышленных исследованиях радиолокационной техники с использованием ультразвука. Его руководитель, профессор Kinjiro Okabe, предложил ему исследовать диагностическую ценность этой техники в медицинской сфере. Его новое исследование заключалось в оценке ультразвукового излучения живых тел, записи отраженных сигналов и анализа их изменений. В 1956 г. Shigeo Satomura в сотрудничестве с двумя кардиологами, Т. Yoshida и Y. Nimura, из Университетского госпиталя в Осаке создали методику для исследования сердца и кровеносных сосудов. В конце года они представили, а затем опубликовали свою первую статью по этой теме. В статье, озаглавленной «Новый метод механического измерения вибрации и ее применение», они показали отображение движений сердца с помощью 3 МГц ультразвуковых волн [8]. Из парастернального доступа доплеровские сигналы частотой 100 Гц были получены в пресистоле, систолу и в начале диастолы, что указывает на сокращение предсердий, сжатие желудочков и релаксацию желудочков, соответственно. В 1957 г. эта же команда опубликовала статью «Ultrasonic Doppler method for the inspection of cardiac function», где был описан прототип Доплеровского расходомера. Путем добавления фильтра низких частот к усилителю доплеровских частот, появилась возможность различить доплеровские сигналы, создаваемые движением стенки сердца и клапана, и, кроме того, доплеровские сигналы, исходящие от большого сердца. Они также разработали более последовательную и полную запись сердечной деятельности путем записи доплеровских сигналов одновременно с ЭКГ и фонокардиографией на бумагу осциллографа. Информация о движении клапана, ранее недоступная без инвазивных методов, и аспекты, связанные с возбуждением миокарда, были получены и проанализированы. На 3-й Международной конференции по медицинской электронике в Лондоне в 1960 г. прибор был представлен как ультразвуковой доплеровский кардиограф. В рамках своей докторской диссертации Shigeo Satomura, работая с неврологом Ziro Zaneko, использовал недавно построенный доплер-расходомер для получения данных о скорости потока крови в периферических

и экстракраниальных сосудах головного мозга, используя ультразвук. Авторы доказали, что ультразвуковые доплеровские сигналы от артерий и вен могут быть записаны с поверхности кожи, и стали пионерами чрескожного анализа потока в систолу и диастолу как в нормальных, так и в пораженных кровеносных сосудах (рис.3).

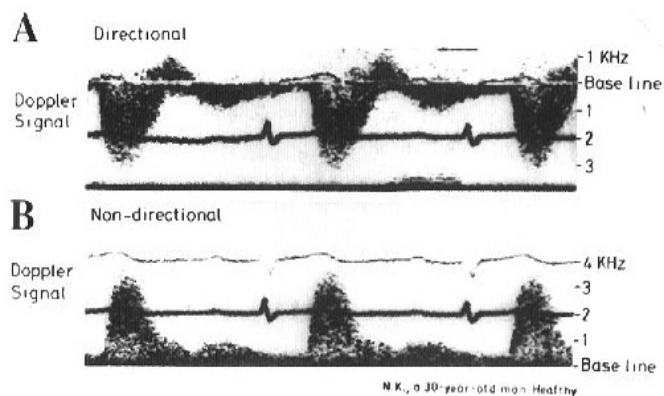


Рис. 3. Один из первых примеров записи доплерограммы артериального сосуда.

В знак признания заслуг в разработке новых инженерных подходов для медицинского применения Shigeo Satomura была присуждена степень доктора медицинских наук в 1960 году. К сожалению, в возрасте 41 года, в разгар своей трудовой деятельности, этот ученый скоропостижно скончался от субарахноидального кровоизлияния. После смерти Shigeo Satomura японская команда физиков и врачей из Осаки продолжила его исследования.

Важнейшие работы Shigeo Satomura и его команды не были признаны в Соединенных Штатах в значительной степени из-за трудностей, с которыми встречались западные ученые при чтении японской литературы. Часто исследования в области ультразвука, проводимые в Японии, опережали западные исследования на несколько лет и независимо дублировались в США. При параллельных исследованиях в США группа Franklin Din из университета Вашингтона, Сиэтл, в 1959 г. также описала ультразвуковой расходомер. Это, в отличие от разработанного Shigeo Satomura, было инвазивное устройство, которое крепилось к стенке кровеносного сосуда. Позже, в 1966 г., этой группой исследователей был представлен транскутанный определитель доплеровского потока как неинвазивное техническое устройство. Независимо от группы из Осаки, в 1967 г. Francis McLeod разработал направленный Допплер [7]. Следует отметить, что импульс-

ный метод доплеровского исследования разработали почти одновременно Peter N.T. Wells в Великобритании и Peronnea с командой во Франции в 1969 г., а в 1970 г. Donald W. Baker в Соединенных Штатах и Ohtsuki и Okujima в Японии [2, 3, 10]. Важным шагом на пути внедрения доплеровской техники в клиническую практику было представление его комбинации с 2D изображением путем создания ультразвукового дуплексного эхо-доплер сканера Frank E. Barber в 1974 г. Другой прорыв произошел, когда Holen, а затем Hatle, показали, что показатели гемодинамики у больных с митральным и аортальным стенозом могут быть достоверно определены путем доплерографии, используя уравнение Бернулли [5]. Ранние системы отображения и регистрации изображения состояли из обычных осциллографов с катодным лучом, которые были экспонированы с открытыми фотографическими затворами для фиксации изображения на экране. Из-за запаздывания, свойственного этим системам, фиксировались многие более слабые отображения, но они не были так интенсивны, как отображения от раздела поверхностей.

В более поздних моделях доплеровской техники использовался «бистабильный» осциллограф с «памятью», который упростил процесс сканирования и устранил необходимость «затворной» фотографии. С устранением изображений от фотокамеры с затвором «серый» или менее интенсивные изображения были потеряны, приводя к созданию худших изображений. При поддержке George Kossoff из Австралии был разработан полутонный режим («серой шкалы»), который стал вновь востребованным. Дальнейшие усовершенствования в сфере электроники, такие, например, как аналоговые и цифровые сканирующие конверторы, привели к получению качественных ультразвуковых изображений. Цифровые сканеры, выпущенные на рынок в 1976 г., давали устойчивые, воспроизводимые и очень четкие изображения. Существенной поворотной точкой в развитии ультразвука было автоматически возобновляемое сонографическое изображение или оперативное отображение. Эта методика сканирования позволяет производить отбор и отображение изображений настолько быстро, что их формирование и отображение кажется одновременным. Первой коммерчески доступной оперативной ультразвуковой системой была «Vidoson» (Siemens Medical Systems, Iselin, NJ). Этот прибор имел вращающийся датчик, который нахо-

дился в водном резервуаре и сначала использовался Hoffman в 1966 г. и Hollander в 1968 г. для исследования структур в женской почечной лоханке. В течение 1970-1980 гг. многочисленные усовершенствования и модификации датчиков и ультразвуковых приборов послужили основой для улучшения ультразвуковых изображений и расширили возможности использования этой технологии. В общей хирургии ультразвук, несомненно, показал свою эффективность в диагностике патологии грудной железы, желчевыводящих путей, поджелудочной железы. Первыми инициаторами в этих областях были Leopold и Dust, Kobayashi, Stuber и Мишкин. Friday популяризировал использование ультразвука для локализации внутрибрюшных абсцессов, а Goldberg в 1970 г. предлагал его использование для раннего обнаружения асцита. Хотя коррективная радиология стала очень сложной, ее начало восходит к 1969 г., когда Jan Kratochvil предложил использовать ультразвук в режиме «А» для чрескожных дренажных процедур. В пользу использования ультразвукового режима «В» выступили Goldberg и Pollack в 1972 г.

Исследования по использованию ультразвука в медицине проводились также и в СССР. В 1954 г. на базе Акустического института АН СССР было создано отделение ультразвука под руководством профессора Л. Розенберга. И только с конца 80-х годов XX века ультразвуковая диагностика начала постепенно внедряться в советскую медицину.

В Украине первыми врачами, которые начали внедрять метод доплерографии в конце 80-х и в начале 90-х годов в практику здравоохранения, были Григораш Г.А., Бахарев А.М., Гуч А.А., Костылев М.В., Лущик У.Б., Дуган И.В., Дынник О.Б. В 1999 году к.м.н. Дынник О.Б. был избран первым президентом Украинского Допплеровского клуба. Основной задачей этой общественной организации было обучение украинских специалистов существующим методикам доплерографии.

Метод доплерографии стал неотъемлемой составляющей алгоритма обследования сердечно-сосудистой системы, сосудов шеи, головного мозга, конечностей, брюшной полости, забрюшинного пространства, малого таза, плода и новорожденного. В настоящее время практически все ультразвуковые приборы оснащены доплеровскими методиками, которые в зависимости от класса прибора позволяют эффективно оценить показатели кровотока в мельчайших сосудах органов и тканей.

## Литература

1. Доплер Христиан (Doppler Johann Christian). Физики: Биографический справочник [авт.-ред. А. И. Ахиезер]. – 2-е изд., испр. и дополн. – М.: Наука, 1983. – 106 с.
2. Baker J. P. The history of Sonographers / J. P. Baker // *Ultrasound Med.* – 2005. – V. 24. – P. 1-14.
3. Barber F. E. Ultrasonic duplex echo-Doppler scanner / F. E. Barber, D. W. Baker, A. W. Nation // *Trans Biomed Eng.* – 1974. – V. 21. – P. 109-113.
4. Coman I. M. Christian Andreas Doppler: the man and his legacy / I. M. Coman // *Eur J Echocardiogr.* – 2005. – V. 6. – P. 7-9.
5. Coman I. M. Shigeo Satomura: 60 years of Doppler ultrasound in medicine / I. M. Coman, B. A. Popescu // *Cardiovascular Ultrasound.* – 2015. – V. 13. – P. 48-51.
6. Kato K. A new ultrasonic flowmeter that can detect flow direction / K. Kato, T. Izumi // *Jap Med Ultrasonics.* – 1966. – V. 5. – P. 28-30.
7. Roelandt J. R. Seeing the invisible: a short history of cardiac ultrasound / J. R. Roelandt // *Eur. J. Echocardiogr.* – 2000. – V. 1. – P. 8-11.
8. Satomura S. Ultrasonic Doppler method for the inspection of cardiac functions / S. Satomura // *J. Acoust. Soc. Am.* – 1957. – V. 29. – P. 1-18.
9. Veyrat C. Those who faced turbulence and launched the era of flow dynamic concepts for cardiac investigation / Veyrat C. // *Cardiovasc. Res.* – 2001. – V. 15. – P. 205.
10. Yasuharu N. Introduction of the Ultrasonic Doppler Technique in Medicine: A historical perspective / Yasuharu N. // *J. Med. Ultrasound.* – 1988. – V. 6. – P. 5-13.

## 60-ЛЕТИЕ ДОПЛЕРОГРАФИИ В МЕДИЦИНЕ

*А.В. Коваленко, Б.А. Тарасюк,  
И.Н. Дыкан, И.В. Андрущенко, С.Г. Мазур*

В этом году отмечается 60-летие использования доплерографии в медицине. Сдвиг частоты волн (световых и звуковых) при отражении от движущегося источника был обнаружен в 1842 г. австрийским профессором математики и физики К.А. Доплером.

Метод доплерографии стал неотъемлемой составляющей алгоритма обследования пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, магистральных сосудов головы и шеи, конечностей, а также брюшной полости, забрюшинного пространства, малого таза,

плода и новорожденного. В настоящее время практически все ультразвуковые приборы оснащены доплеровскими методиками, которые в зависимости от класса прибора позволяют эффективно оценить показатели кровотока как в магистральных, так и в мельчайших сосудах органов и тканей.

## 60-РІЧЧЯ ДОПЛЕРОГРАФІЇ В МЕДИЦИНІ

*А.В. Коваленко, Б.А. Тарасюк,  
І.М. Дикан, І.В. Андрущенко, С.Г. Мазур*

В цьому году році відмічається 60-річчя використання доплерографії в медицині. Зрушення частоти хвиль (світлових і звукових) при відображенні від рухомого джерела був виявлений в 1842 р австрійським професором математики і фізики К.А. Доплером. Метод доплерографії став невід'ємною складовою алгоритму обстеження пацієнтів з захворюваннями серцево-судинної системи, магистральних судин голови та шиї, кінцівок, а також черевної порожнини, заочервного простору, малої миски, плода та новонародженого. В даний час майже всі ультразвукові прибори оснащені доплерівськими методиками, котрі в залежності від класу прибору дозволяють ефективно оцінити показники кровотоку як в магистральних, так і в дрібних судинах органів та тканин.

## 60th ANNIVERSARY OF DOPPLER IN MEDICINE

*A.V. Kovalenko, B.A. Tarasyuk, I.N. Dykan, I.V. Andrushchenko, S.G. Mazur*

The 60th anniversary of Doppler ultrasound application in medicine is celebrated this year. Waves' frequency shift (light and sound) when reflected from the moving source was discovered in 1842 by the Austrian professor of mathematics and physics K.A. Doppler.

Doppler method has become an integral part of the investigation algorithm of patients with diseases of cardiovascular system, main vessels of head and neck, extremities as well as abdominal cavity, retroperitoneal space, small pelvis, fetus and newborn. At present, practically all the ultrasound devices are equipped with Doppler techniques, which, depending on the class of the device, allow to evaluate effectively the blood flow parameters in the great vessels as well as in the smallest vessels of organs and tissues.