

ЛЕКЦИЯ

УДК 616-073.75+616-073.756.8

SWAN 2.0 — ТЕХНОЛОГИЯ, «РАСКРЫВАЮЩАЯ РАНЕЕ НЕВОЗМОЖНОЕ»

И. С. Крымский
ООО «ДжиИ Хэлскеа», Москва, Россия

SWAN 2.0 TECHNOLOGY «EXPOSES PREVIOUSLY NOT FEASIBLE»

I. S. Krymskiy
GE Healthcare, Moscow, Russia

© Крымский И. С., 2015 г.

SWAN — один из достаточно новых диагностических инструментов, представляющий собой изображение, взвешенное по магнитной восприимчивости, и изображение фазовой карты. Предложен для нейровизуализации, для разграничения дериватов крови, микрокальцинатов, магнетиков и парамагнетиков. Успешно применяется в нейроонкологии, нейронавигации, при нейротравме.

Ключевые слова: SWAN, SWI, Veno-bold, phase image map, GRE, GE Healthcare, MRI, MPT, изображение взвешенное по магнитной восприимчивости, фазово-имиджевая карта, кровоизлияния, дифференцировка микрокальцинатов, микрогеморрагий.

SWAN — one of the fairly new diagnostic tool, which is weighted by the image and the image of the magnetic susceptibility of the phase map. Proposed for neuroimaging to distinguish blood derivatives, microcalcifications, magnetic and paramagnetic. Successfully used in neuro-oncology, neuronavigation in neurotrauma.

Key words: SWAN, SWI, Veno-bold, phase image map, GRE, GE Healthcare, MRI, weighted by the image, magnetic susceptibility of the phase map, distinguish blood derivatives, microcalcifications, magnetic and paramagnetic.

Введение. Метод магнитно-резонансной томографии (МРТ) прекрасно визуализирует паренхиму вещества головного мозга, позволяет достоверно и с высокой степенью точности оценивать практически любые патологические процессы, возникшие в головном мозге или ранее имевшие место. Применение метода МРТ вне конкуренции при неотложных неврологических состояниях, их последствиях и осложнениях.

К сожалению, применение традиционных методик МРТ в ряде клинических случаев неоднозначно позволяет судить о этиологии патологических процессов. К таким, не столь редким, ситуациям можно отнести затруднение в дифференцировке микрокальцинатов и микрогеморрагий, ранее вынуждающих вовлекать в диагностический процесс другие методы лучевой диагностики, в частности МСКТ (связанные с воздействием ионизирующего излучения).

Раскрыть «новые» возможности визуализации МРТ и расширить диагностические горизонты позволяет секвенция SWAN (T2 Star Weighted Angiography — GE Healthcare, SWI — Siemens,

Ven-bold — Phillips), специально созданная для применения в области нейровизуализации.

Физико-технические характеристики. SWAN-секвенция основана на эффекте различной магнитной восприимчивости (магнитная восприимчивость — по сути «отклик вещества») таких веществ, как кровь, железо и кальцификации в разных тканях. Данная секвенция основана на семействе последовательности GRE (градиентного эха). Как мы знаем, при наличии высокого наружного магнитного поля, время релаксации T2* изменяется и соответственно вызывает «выпадение» МР-сигнала на GRE-последовательностях.

SWAN 2.0 — новая секвенция МРТ, 3D-секвенция, в ее основе лежит применение множественного TE (Time Echo) с последующим сложным алгоритмом реконструкции получаемого изображения, благодаря чему достигается увеличение соотношения сигнал/шум (SNR) в два раза. Вызывает значительно меньшую чувствительность к эффектам химического сдвига, в отличие от традиционных SWI-методик получения изображений.

SWAN — это дальнейшее логическое продолжение всем нам известной и широко применяющейся в практике секвенции T2 GRE (T2*). В отличие от рутинной T2 GRE, которая является 2D-техникой, SWAN представляет собой 3D-секвенцию, что позволяет получать изображения с более тонкими срезами и высоким пространственным разрешением с сохранением приемлемого уровня времени сканирования.

Как пример можно привести следующие параметры сканирования:

Matrix size = 448×384, Flip angle = 20, Receiver bandwidth = ±62,5 kHz;

FOV = 24 cm, TR = 40,7 ms, Effective TE = 25,4 ms, Number of echo = 5;

TEi = 15,1–35,8 ms with 5,1 ms echo spacing, 2X acceleration;

Total acquisition time = 2:53 minutes.

Таким образом, как видно из примера, данная секвенция позволяет провести исследование всего головного мозга с ультравысоким разрешением (рис. 1) за стандартное время (4–5 минут).

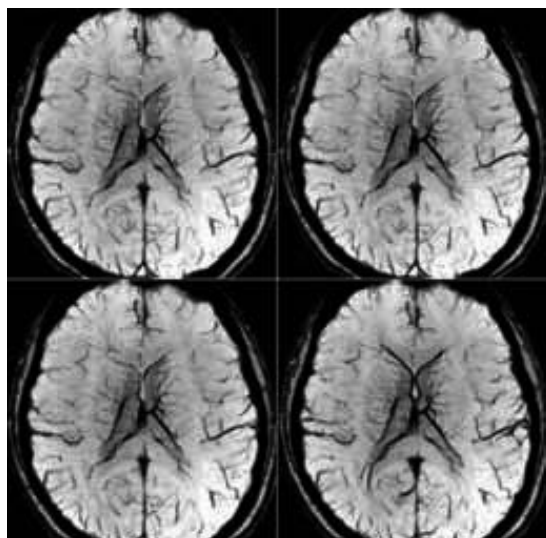


Рис. 1. Пример SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкции MinIP). Время получения 2 мин 53 с, здоровый волонтер.

Показания к применению SWAN-секвенции:

- 1) визуализация крупных сосудов и сосудистых структур головного мозга;
- 2) визуализация мелких сосудов и микрокровоизлияний;
- 3) сосудистые поражения характеризующиеся отложениями гемосидерина;
- 4) кровоизлияния в острую и хроническую фазы;
- 5) кровоизлияния в стромах опухоли и дифференциальная диагностика опухолей;
- 6) травматические повреждения головного мозга — в любой фазе развития;
- 7) мелкие субкортикальные кровоизлияния при деменции, нейродегенеративных заболеваниях;
- 8) отложения металлов в базальных ядрах головного мозга, нейронавигация;

9) кальцификация — факоматозы, оппортунистические инфекции.

Ограничения к применению: общие, те же, что при любом МРТ-исследовании.

Более подробно остановимся на **дополнительных возможностях SWAN 2.0**.

Микрокровоизлияние и микрокальцификат не могут быть достоверно разграничены друг от друга применением только имиджевого изображения (в том числе с построением различных реконструкций MIP, MinIP), так как кальцификат и микрокровоизлияние будут выглядеть одинаково, как выпадение МР-сигнала (гипоизображение) (рис. 2, 3). Кальцификаты на рутинных изображениях головного мозга (T2 Flair, T1, T2 и т. п.) будут видны только при очень крупных размерах.

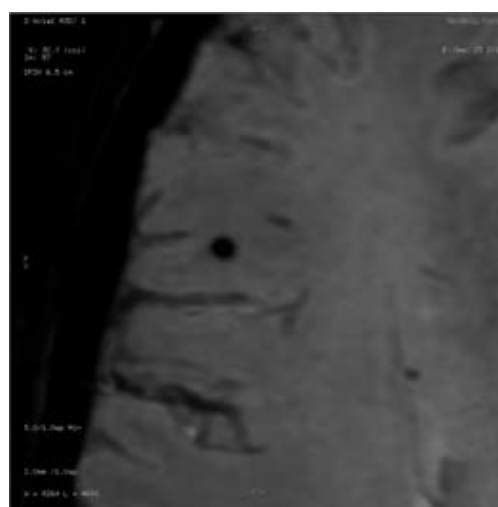


Рис. 2. SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкция MinIP). Пациент А., точечное микрокровоизлияние.

Однако использование фазово-имиджевой карты позволяет достоверно дифференцировать микрокровоизлияние от микрокальцината по сигнальным характеристикам.

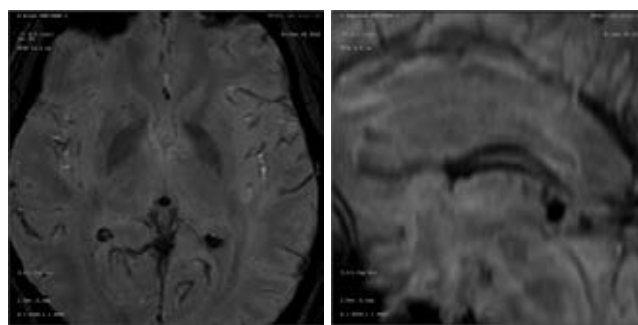


Рис. 3. SWAN ИП волонтера (аксиальная и сагиттальная проекции). Сагиттально визуализируется шишковидная железа (нормальная кальцификация).

Микрокровоизлияние на фазово-имиджевой карте будет выглядеть как темный (гипо) МР-сигнал, а кальцинат будет выглядеть как яркий (гипер) МР-сигнал. Дополнительно можем использовать реформатирование в любой плоскости для опреде-

ления так называемого «кольца» (torus — полукруглый фриз) вокруг очага (яркое гиперинтенсивное кольцо будет соответствовать кровоизлиянию, с кальцинатом соответственно наоборот).

Для наилучшего понимания приведем несколько клинических примеров (рис. 4, 5).

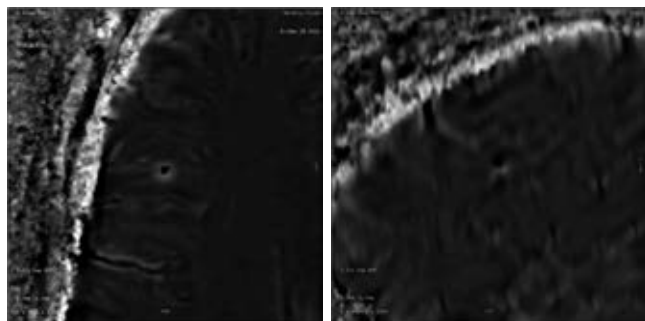


Рис. 4. Пациент А. Фазово-имиджевая карта импульсной последовательности SWAN ИП (аксиальная и сагиттальная проекции). Позволяет достоверно разграничить от изображения кальцината.

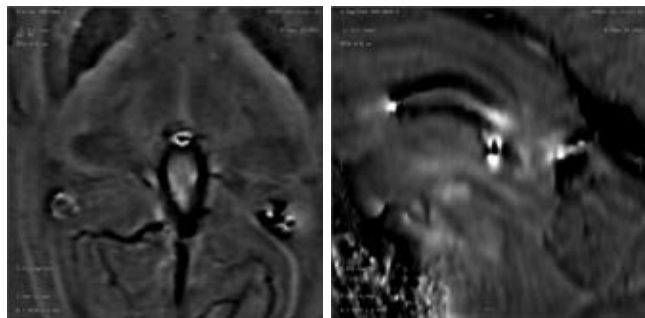


Рис. 5. Фазово-имиджевой карты SWAN ИП, достоверна видна кальцификация шишковидной железы.

Таким образом, благодаря применению (построению) в постпроцессинговой обработке фазово-имиджевой карты мы получаем дополнительный диагностический инструмент.

Обобщая алгоритм действий и резюмируя выше приведенный клинический пример, можно схематично представить следующее (рис. 6, 7).

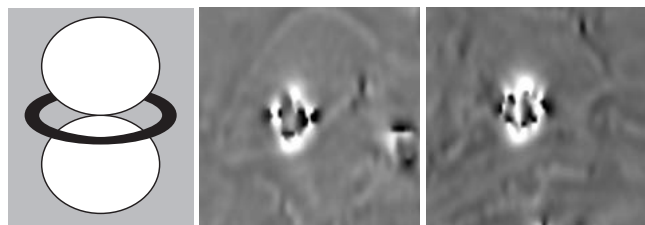


Рис. 6. Схематичное изображение кальцината на фазово-имиджевой карте.

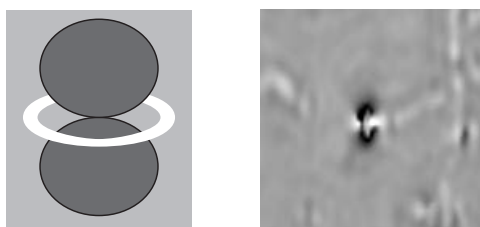


Рис. 7. Схематичное изображение кровоизлияния на фазово-имиджевой карте.

В клиническом применении секвенция SWAN обладает широкими показаниями. Рассмотрим более подробно ряд клинических ситуаций.

ИП (импульсная последовательность) SWAN позволяет со значительно лучшим качеством и разрешением визуализировать такие тонкие структуры, как *substantia nigra* и другие базальные ядра (рис. 8), что, в свою очередь, позволяет проводить нейронавигацию и планирование оперативных вмешательств на этих структурах головного мозга.

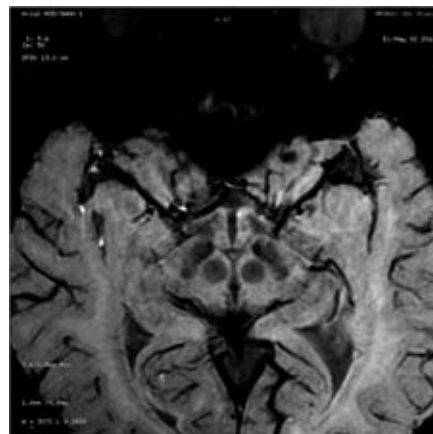


Рис. 8. SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкция MinIP). Базальные ядра здорового волонтера.

В обследовании пациентов детского возраста, особенно в диагностическом поиске перенесенных кровоизлияний, осложнений инфекционных процессов (в том числе внутриутробного характера) большую роль играет методика SWAN. Чувствительность стандартных методик (T2-ИП, T2-Flair ИП и т. п. стандартные импульсные последовательности) к выявлению отложений гемосидерина или кальциатов значительно меньше (рис. 9, 10).

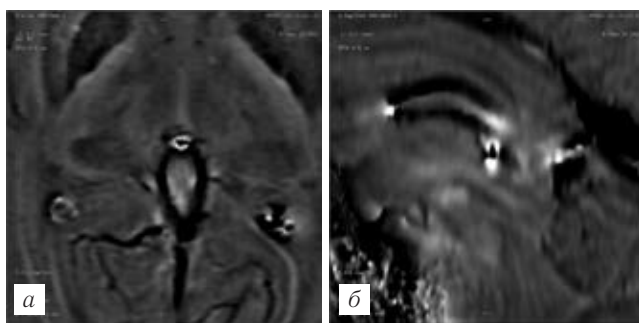


Рис. 9. T2-ИП (аксиальная проекция), патологические накопления гемосидерина визуализируются у заднего рога левого бокового желудочка (а); SWAN ИП (аксиальная проекция) — более выраженная распространенность процесса (б).

Непревзойденным преимуществом применения секвенции SWAN является ее крайне высокая чувствительность к неоднородности магнитного поля, в частности в диагностическом поиске таких угрожающих жизни состояний, как артериовенозные мальформации.

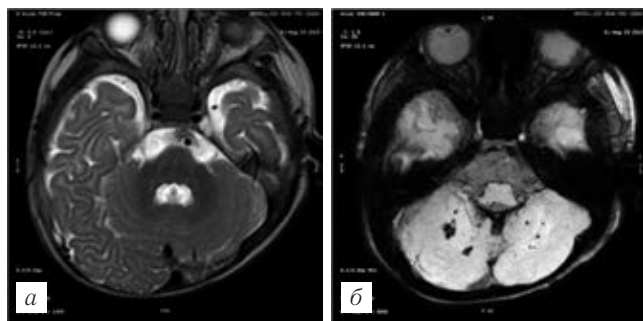


Рис. 10. T2-ИП (аксиальная проекция) (а) накоплений гемосидерина не отмечается; изображение SWAN (аксиальная проекция, реконструкция MinIP) (б), проявления гемосидероза и распространенные накопления гемосидерина в мозжечке.

Импульсная последовательность SWAN заслуженно занимает одно из первых мест для определения дериватов крови. Например, помогает выявить последствия перенесенного геморрагического инсульта (рис. 11).

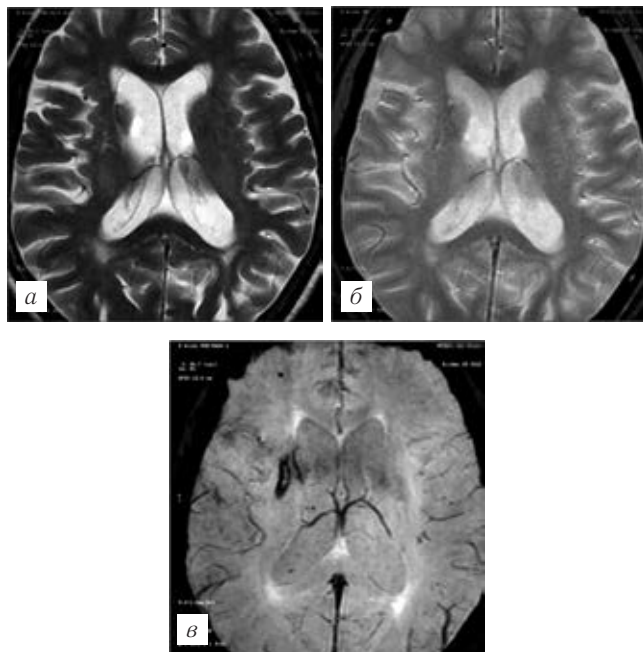


Рис. 11. T2-ИП (аксиальная проекция), накоплений гемосидерина не отмечается (а); T2-GRE (аксиальная проекция), также явных отложений гемосидерина не выявлено (б); изображение SWAN (аксиальная проекция, реконструкция MinIP), явно визуализируется участок отложений гемосидерина щелевидной формы, свидетельствующий о перенесенном кровоизлиянии (в).

Также стоит отметить высокую чувствительность методики SWAN при острых травматических состояниях — субарахноидальном кровоизлиянии, ушибах головного мозга и подобных неотложных состояниях (рис. 12).

Как мы видим из клинического примера, приведенного ниже, выполнение только рутинных стандартных секвенций, взвешенных по T1, T2 и T2 Flair, а также дополненных исследованием по T2*-ВИ, не позволяет в ряде клинических ситуа-

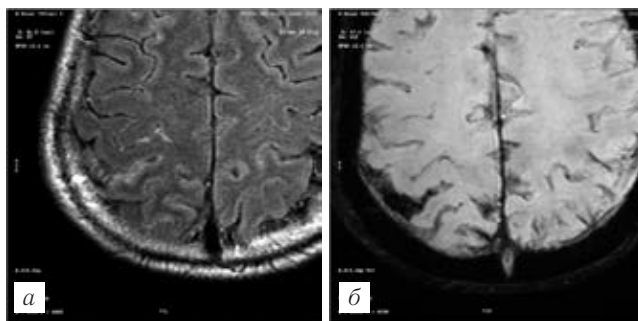


Рис. 12. T2-Flair ИП (аксиальная проекция) (а) небольшое количество крови по бороздам; SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкция MinIP), визуализируется значительно большее количество крови в субарахноидальном пространстве (б).

ций достоверно судить об отсутствии или наличии патологии вещества головного мозга (рис. 13, 14).

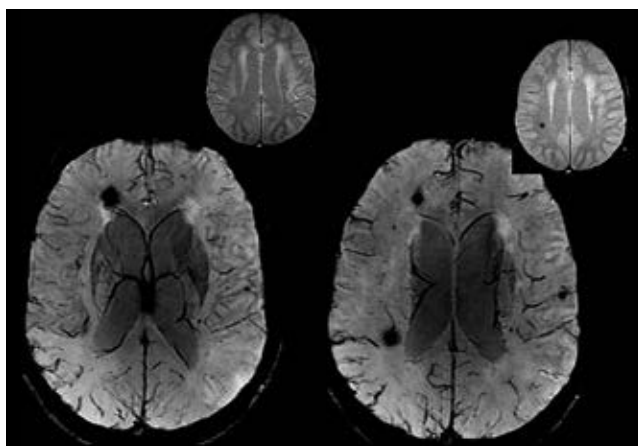


Рис. 13. Верхний ряд: T2-GRE ИП (аксиальная проекция), визуализируется одна небольшая кавернома в теменной доле справа; нижний ряд — SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкция MinIP), выявлены множественные каверномы.

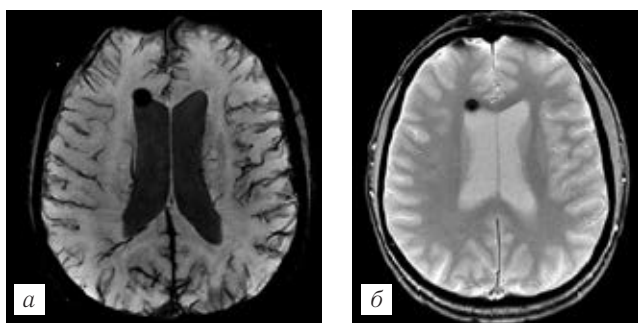


Рис. 14. SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкция MinIP) визуализируется кавернома у переднего рога правого бокового желудочка (а), а также венозная ангиома у заднего рога правого бокового желудочка, не дифференцирующаяся на T2-GRE, аксиальная проекция (б).

Также ИП (импульсная последовательность) SWAN позволяет достоверно оценить венозную сеть, в том числе мельчайшие вены (венулы) (рис. 15, 16).

Высокую клиническую значимость имеет применение импульсной последовательности SWAN при таких состояниях, как подозрение на эпилепсию.

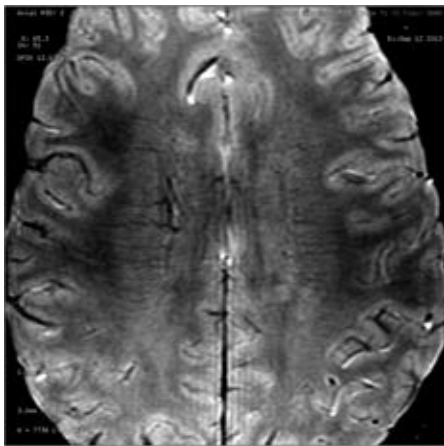


Рис. 15. SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкция MinIP), видны мелкие венулы.

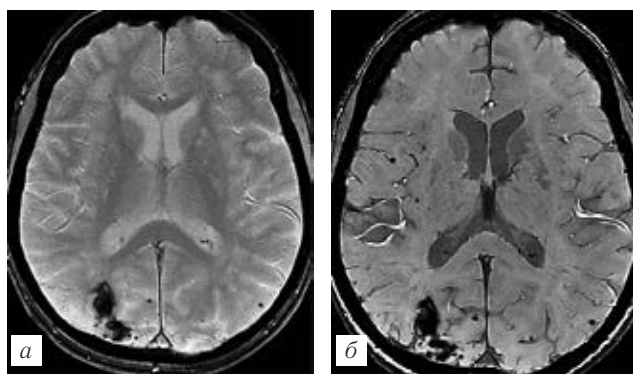


Рис. 16. T2-GRE ИП (аксиальная проекция) (а); SWAN ИП (аксиальная проекция) (б), демонстрирующая значительные преимущества в выявлении кровоизлияний.

В частности, как мы видим на примере, приведенном ниже (рис. 17), проведение в рамках протокола при эпилептогенных состояниях секвенции SWAN позволяет в значительно большей степени случаев найти и подтвердить морфологический субстрат эпилептогенного очага или выявить дополнительные детали, помогающие в дифференциальной диагностике.

Что касается неотложных неврологических состояний, таких как острые нарушения мозгового кровообращения (инфаркт/инсульт), применение в рутинной практике методики SWAN позволяет не только достоверно визуализировать на раннем этапе осложнения патологических процессов (в частности, так называемая геморрагическая трансформация инфаркта), но и выявлять первопричины этих состояний.

На примере, приведенном ниже (рис. 18), визуализируется ранняя геморрагическая трансформация инфаркта, что, в свою очередь, меняет тактику и прогноз лечения пациентов, в частности определяет назначение тромболитической терапии.

Наблюдение, представленное на рис. 19, иллюстрирует проявления церебральной ангиопатии, играющей значительную роль в тактике и прогнозировании осложнений у пациентов.

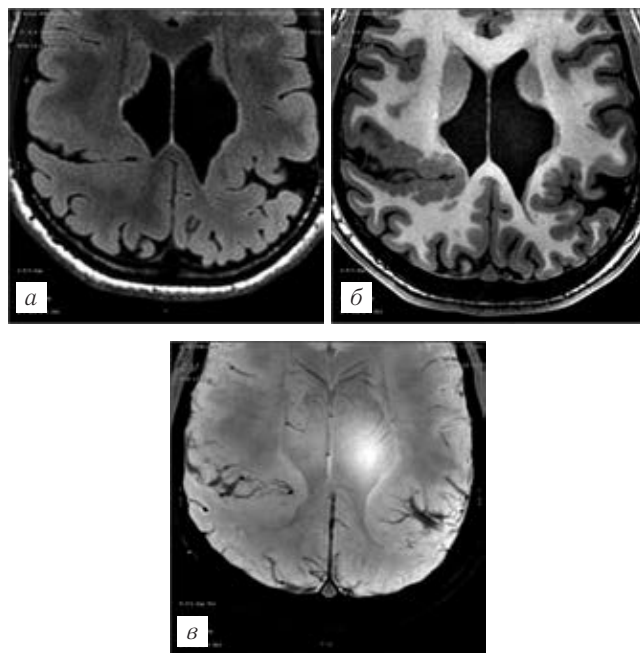


Рис. 17. Шизэнцефалия. T2 FLAIR ИП (аксиальная проекция) (а); BRAVO ИП (аксиальная проекция) (б); SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкция MinIP) (в), в расщелинах мозга дополнительно визуализируются anomalous сосуды.

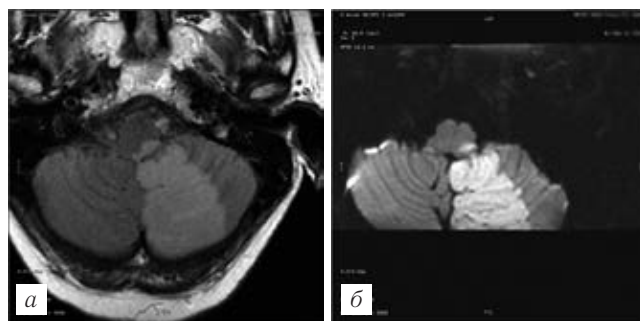


Рис. 18. Инфаркт в левом полушарии мозжечка. T2 FLAIR ИП (аксиальная проекция) (а); DWI-Focus (B1000) аксиальная проекция, (б); SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкция MinIP) (в). Геморрагическое пропитывание зоны инфаркта — «ограничивающее» применение тромболитической терапии.

Аналогичные изменения могут быть визуализированы и у пациентов с другими сосудистыми нарушениями (такими как амилоидная ангиопатия), что соответственно повышает диагностическую ценность методики SWAN, расширяя круг показаний к ее проведению.

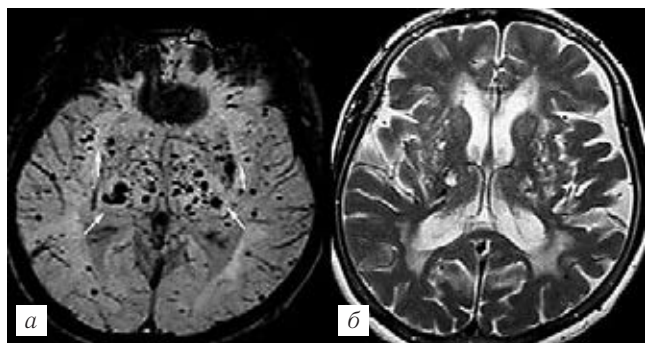


Рис. 19. SWI ИП (аксиальная проекция, MinIP) (а), визуализируются множественные, гипертензионного характера перенесенные микрокровоизлияния; T2-БИ (аксиальная проекция) (б), микрокровоизлияния не отмечаются.

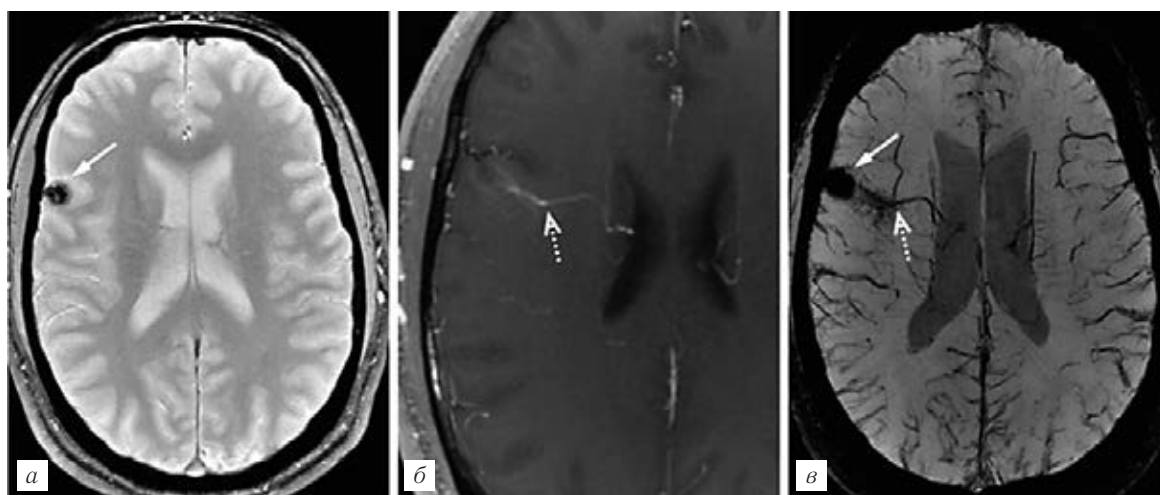


Рис. 20. T2-GRE-BI (аксиальная проекция) (а), в лобной доле справа визуализируется кавернома; T1-FSE (аксиальная проекция, контрастное усиление) (б), также дополнительно визуализируется венозная ангиома; SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкция MinIP), одномоментная визуализация каверномы и венозной ангиомы правой лобной доли (в).

Также исследование с помощью этой методики позволяет оценивать дренирующую систему артерио-венозной мальформации любой локализации (в том числе в таких ранее «трудно-визуализируемых» областях, как конвекситальная область и область основания мозга) (рис. 20).

Дополнительно новые возможности с применением методики SWAN 2.0 выявлены при диагностике как отсроченных посттравматических повреждений головного мозга, так и достаточно «острых» состояний.

В частности, ярким клиническим примером является визуализация такого тяжелого состояния, как диффузно-аксональное повреждение. Достоверная оценка этого процесса важна в оценке текущего состояния пациента и прогнозирования, выбора тактики ведения больного.

Новые диагностические возможности секвенции SWAN проявляются с нарастанием клинического опыта и расширением внедрения методики.

В частности, дополнительные данные, позволяющие в ряде случаев проводить дополнительную дифференциальную диагностику, выявлены при исследовании опухолей головного мозга (рис. 21–23).

Методика SWAN с высокой степенью достоверности позволяет визуализировать кальцинаты в стромах глиальных опухолей, тем самым сужая диагностический ряд и позволяя проводить дополнительную дифференциальную диагностику, в том числе стадирование глиальных образований (рис. 24, 25).

При диагностике осложнений оппортунистических инфекций, таких как токсоплазмоз, кокцидиоз и подобных состояний, проведение SWAN в стандартном протоколе для исследования головного мозга позволяет достоверно оценивать объем и распространение патологических изменений (ранее в ряде случаев при этом допускались диагностические ошибки).

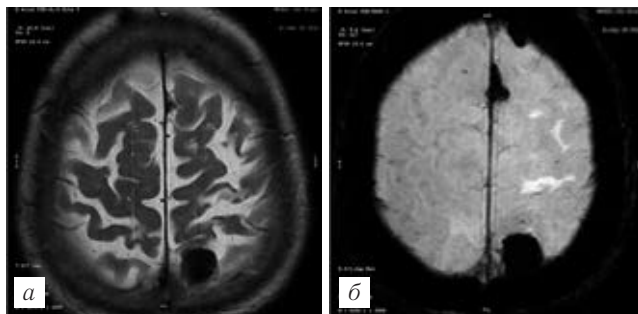


Рис. 21. Обызвествленные менингиомы. T2 ИП (аксиальная проекция) (а); SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкция MinIP) (б).

Применение методики SWAN открывает новые возможности при демиелинизирующих заболеваниях головного мозга, в частности при рассеянном склерозе можно достоверно проследить перивентрикулярное распространение бляшки (рис. 26).

Выводы. Таким образом, учитывая многообразие клинических нозологических форм, требующих углубленного изучения морфологического субстрата патологии, преимущественно в нейровизуализации, мы позволим себе рекомендовать применять секвенцию SWAN как стандартное исследование голов-

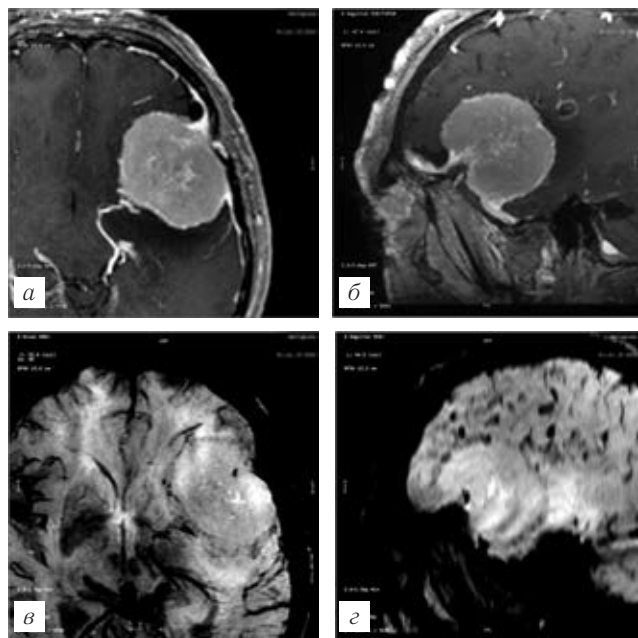


Рис. 22. T1-ИП, аксиальная проекция (а) и сагиттальная (б) проекции с контрастным усилением; изображение SWAN ИП (аксиальная проекция (в) и сагиттальная (г) проекции, реконструкция MinIP), дополнительно визуализируются мелкие кальцинаты в строме менингиомы.

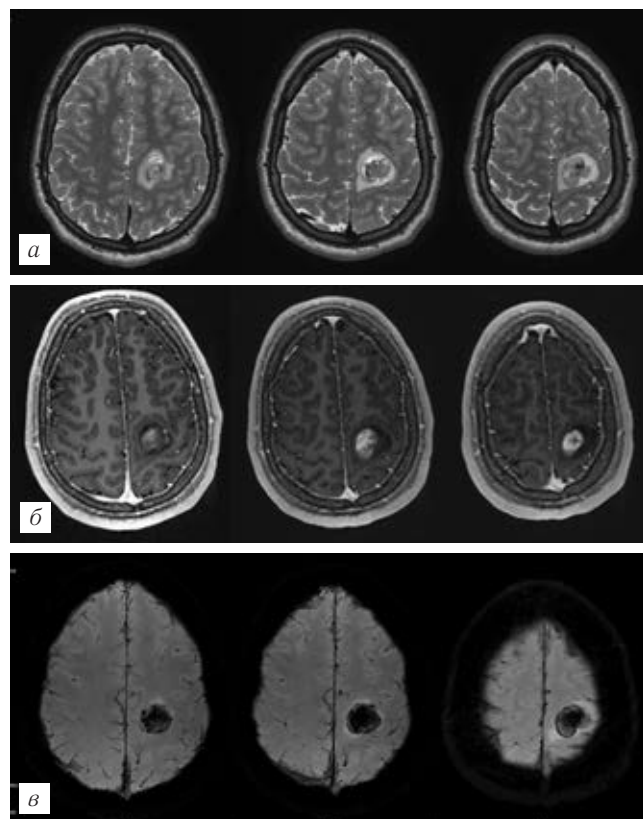


Рис. 23. CUBE T2 ИП (аксиальная реконструкция) (а); изображение BRAVO (аксиальная проекция с контрастным усилением) (б); SWAN ИП (аксиальная проекция и сагиттальная проекции, реконструкция MinIP), хорошо видна кальцинированная строма опухоли (в).

ного мозга, наравне с уже такими традиционно устоявшимися секвенциями, как DWI, T2 Flair и многие другие.

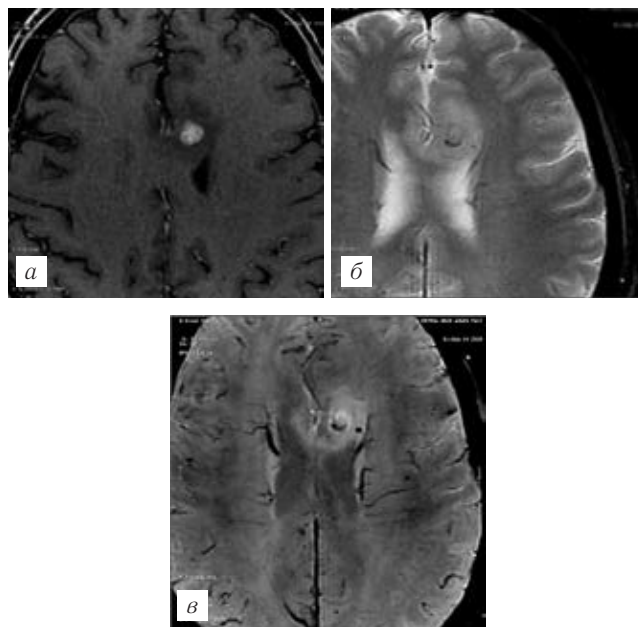


Рис. 24. 3D-FSPGR ИП (аксиальная проекция с контрастным усилением) (а); посередине T2-GRE (аксиальная проекция) (б); SWAN ИП (аксиальная проекция и сагиттальная проекции, реконструкция MinIP), хорошо видна кальцинированная строма опухоли (предположительно олигодендроглиомы) (в).

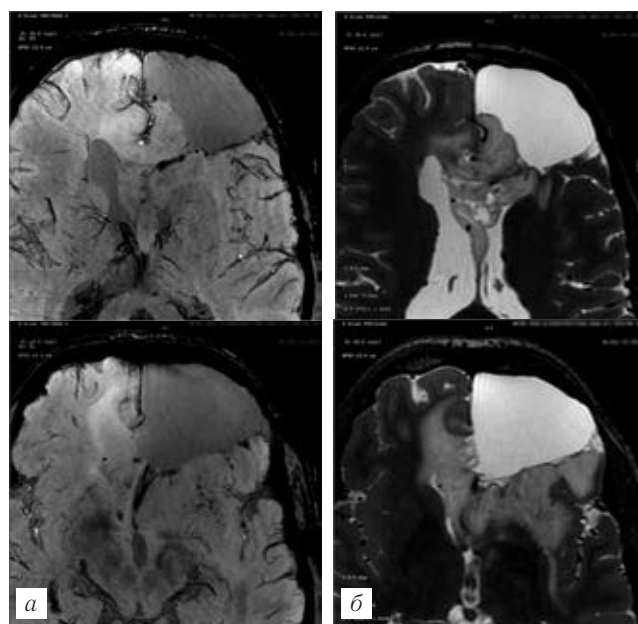


Рис. 25. SWAN ИП (аксиальные проекции, реконструкция MinIP), визуализируются кальцинаты в строме опухоли (олигоастроцитома) (а); изображение T2 CUBE ИП (аксиальная проекция) (б).

Применение методики SWAN в рамках стандартного протокола для исследования головного мозга пациентов оправдано, и даже более того, иной раз является единственным диагностическим инструментом, позволяющим с высокой степенью достоверности судить о происходящих патологических процессах в головном мозге, определять дальнейшую тактику ведения пациентов и прогнозировать возможности исхода.

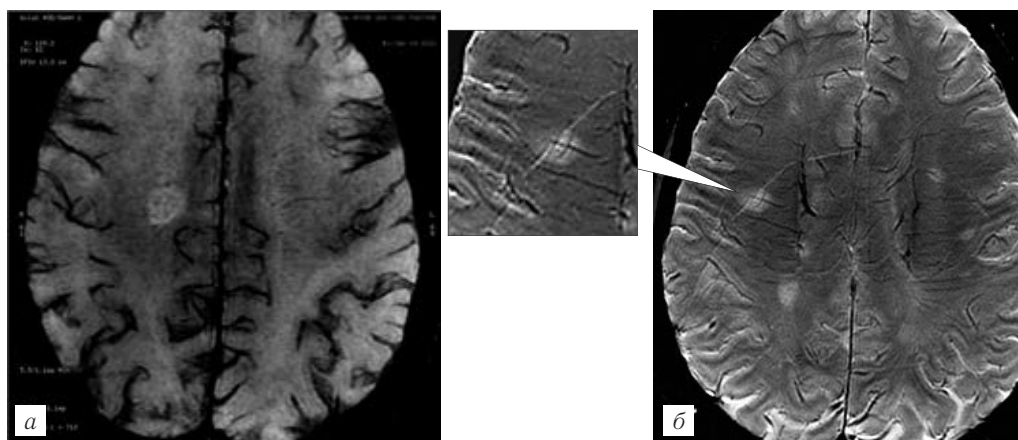


Рис. 26. SWAN ИП (аксиальная проекция, реконструкция MinIP) у пациента с рассеянным склерозом. Визуализация мелких венул в очаге демиелинизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tanenbaum L., MD, FACR, Vu T., PhD. Mind over matter: Susceptibility Enhanced imaging of Brain vasculature with SWAN // *Signa Pulse*.— 2008. —Autumn.
2. Linn J. MD, Department of Neuroradiology, University Hospital Munich. High-resolution 3D imaging of cerebral vasculature // *GE Healthcare-Signa Pulse-Magazine*.— 2009.— Spring.
3. Şahin N., Solak A., Genç B., Bilgiç N. Susceptibility-weighted MR imaging: added value of susceptibility signals in diagnosis of hemorrhagic lesions of the brain // *Turkish Journal of Cerebrovascular Diseases*.— 2014.— Vol. 20 (3).— P. 77–86.
4. Neyaz Z., Patwari S. S., Paliwal V. K. Role of FIESTA and SWAN sequences in diagnosis of intraventricular neurocysticercosis // *Neurol. India*.— 2012.— Vol. 60.— P. 646–647.
5. Patzig M., Laub Ch., Janssen H., Ertl L., Fesl Patzig G. et al. Pseudo-subarachnoid hemorrhage due to chronic hypoxemia: case report and review of the literature // *BMC Neurology*.— 2014.— 14:219 <http://www.biomedcentral.com/1471-2377/14/219>.
6. Yates P. A., Sirisriro R., Villemagne V. L. et al. Cerebral microhemorrhage and brain beta-amyloid in aging and Alzheimer disease. *Neurology* 2011;77:48–54, 10.1212/WNL.0b013e318221ad36
7. Lou H., Wang Q., Xu S. MR T2 Star-weighted Angiography (SWAN) Findings of Granulomas and Leptomenigitis in Tuberculous Meningoencephalitis Patients // *Radiological Society of North America. Scientific Assembly and Annual Meeting*, November 26 — December 2, 2011.— Chicago IL, 2011. <http://archive.rsna.org/2011/11007780.html> Accessed July 20, 2015.
8. MR Imaging Findings in Intracranial Dural Arteriovenous Fistula Shunt with Retrograde Cortical Venous Drainage Using Susceptibility-Weighted Angiography // *AJNR*.— 2011.— Vol. 32.— E196–E197.
9. Noguchi K., Kuwayama N., Kubo M., Kamisaki Y., Kameda K., Tomizawa G., Kawabe H., Seto H. Intracranial Dural Arteriovenous Fistula with Retrograde Cortical Venous Drainage: Use of Susceptibility-Weighted Imaging in Combination with Dynamic Susceptibility Contrast Imaging.

Поступила в редакцию: 25.08.2015 г.

Контакт: Крымский Игорь Сергеевич, igorkrym@mail.ru

Сведения об авторе:

Крымский Игорь Сергеевич — специалист клинического обучения, ООО «ДжиИ Хэлскеа», 123317, Москва, наб. Пресненская, д 10.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2016 года.

Подписные индексы:

Агентство «Роспечать» 57991

ООО «Агентство „Книга-Сервис”» 42177