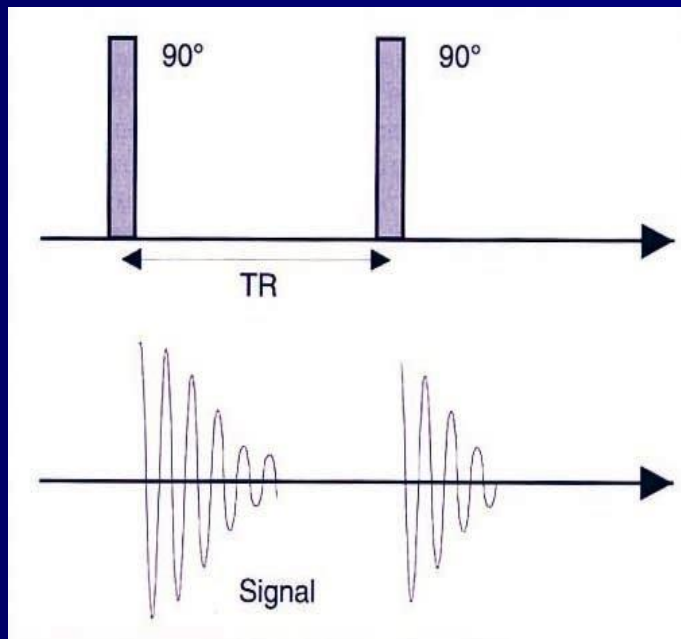


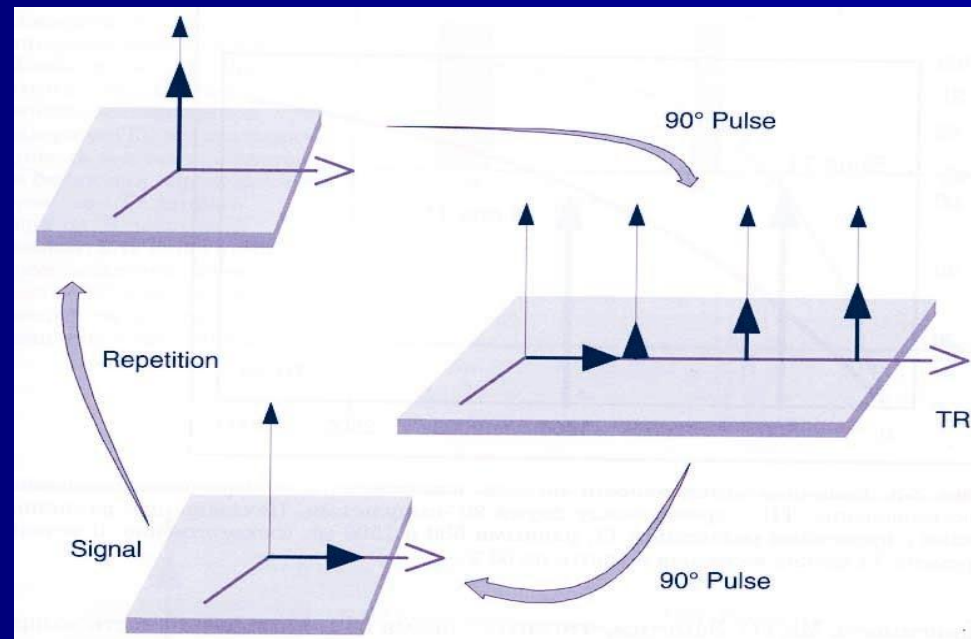
Последовательности градиентных ЭХО- сигналов

- Самая первая последовательность градиентных эхо-сигналов была представлена Акселем Хаазелем в 1986 году под названием **FLASH** – *Fast Low Angle Shot Imaging*, которая является реализацией метода насыщение-восстановление.

Последовательность «восстановление с частичным или полным насыщением»

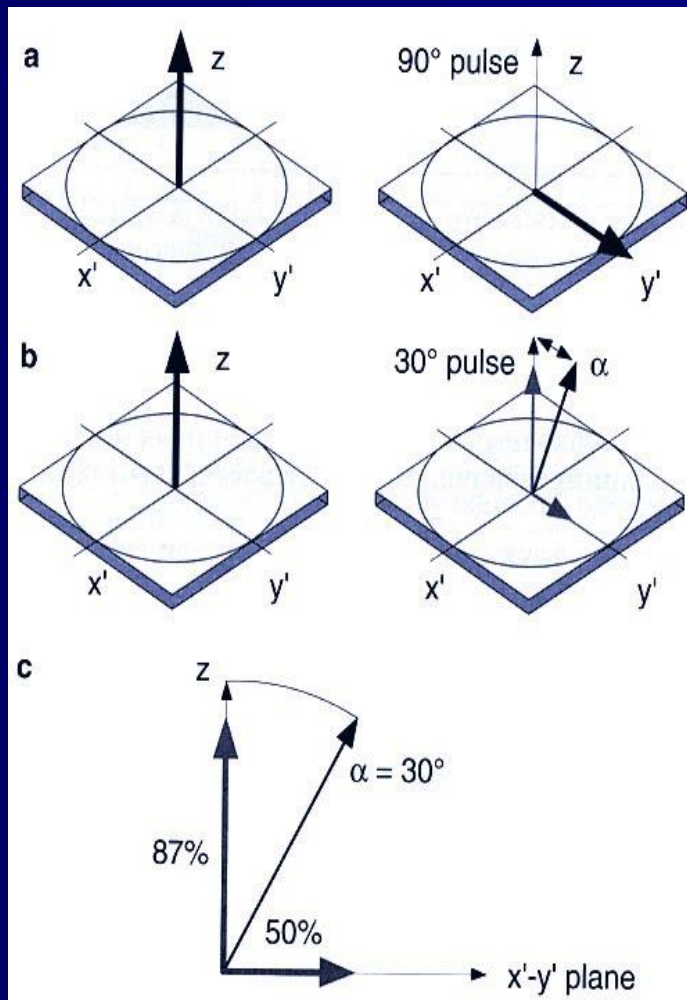


TR-время повторения
 $M_z = M_0(1 - \exp[-TR/T_1])$
Если TR не превышает время, за которое спины полностью возвращаются к состоянию равновесия (**TR < 5T₁**), то соотв. интенсивность FID меньше максимально возможной.



Намагниченность M_0 отклоняется на 90°. В течение времени TR спиновая система релаксирует, намагниченность восстанавливается. Для оценки получившейся намагниченности подается снова 90°- импульс для перевода её в плоскость $x'-y'$.

Быстрая томография. Последовательности градиентных ЭХО-СИГНАЛОВ.



Принцип стандартной имп. последовательности (a), в сравнении с FLASH (b).

В последовательности FLASH угол отклонения меньше 90° , то есть он делит намагниченность на продольную и поперечную компоненты (c).

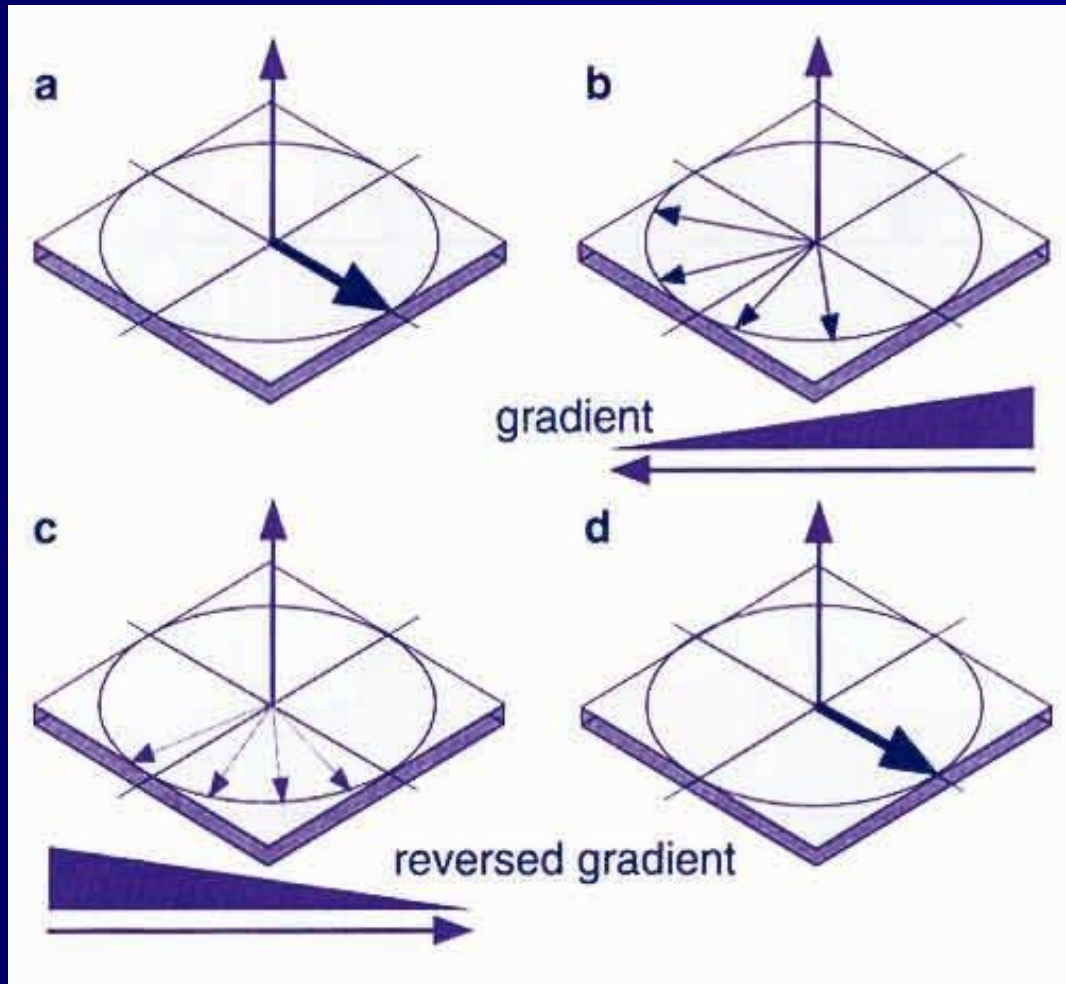
В данном случае угол отклонения равен 30° .

Такой импульс сохраняет 87% продольной намагниченности, создавая поперечную намагниченность, равную 50% от максимально достигаемого значения.

Угол отклонения называется углом Эрнста, который вычисляется следующим образом:

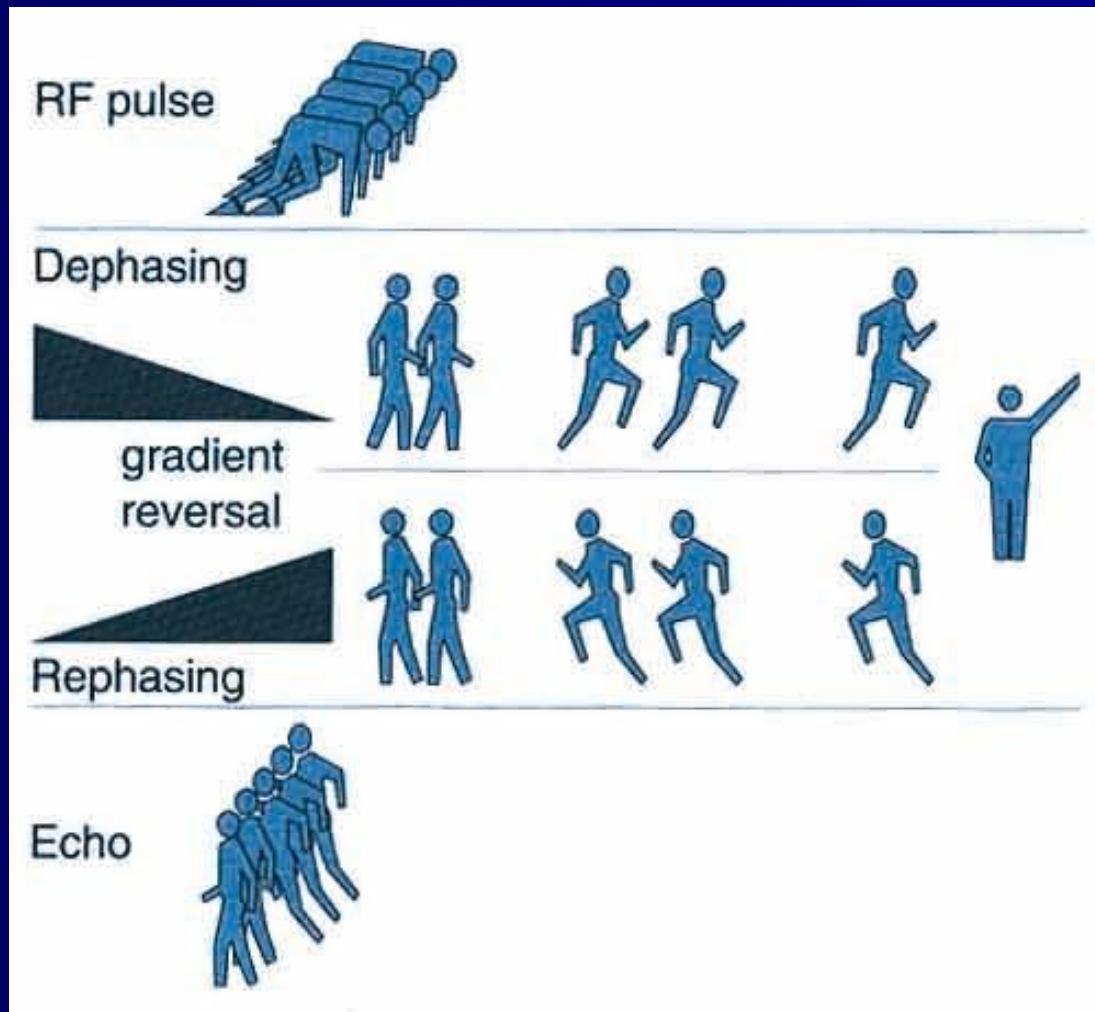
$$\text{Угол Эрнста} = \arccos [\exp (-TR/T1)]$$

Образование градиентного эха



Сразу после подачи РЧ-импульса поперечная намагниченность велика, т.к. все спины синфазны. Далее (б) эти спины начинают разбегаться по фазе (наложение ускоряет этот процесс). (с) Изменяется знак градиента, и спины начинают двигаться в обратном направлении. (д) – образуется градиентное эхо.

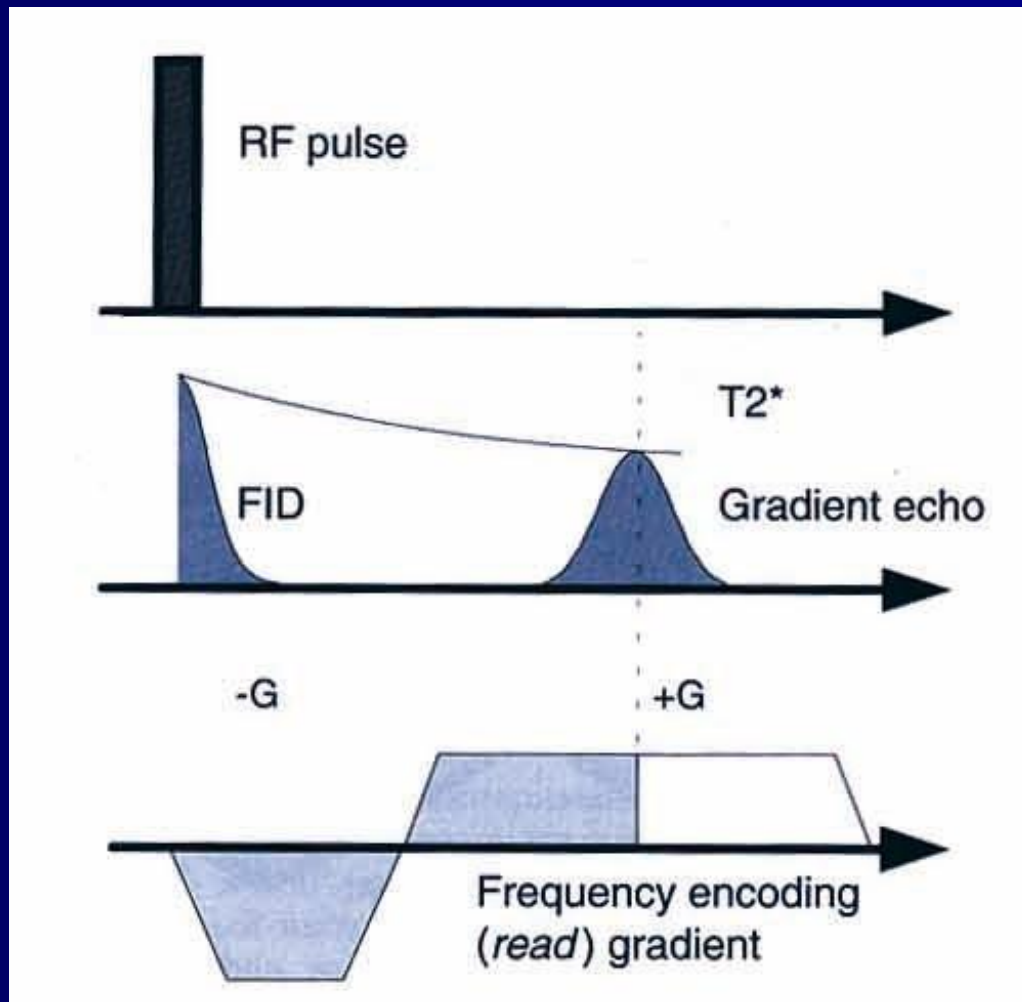
Образование градиентного эха: аналогия с бегунами



В момент РЧ-импульса все бегуны находятся на линии старта. После старта они начинают растягиваться вдоль дорожки. Перемена знака градиента означает команду «Всем бежать обратно!!!». И они бегут обратно к линии старта, от которой более резвые бегуны отбежали дальше. В отличие от спин-эхо эксперимента каждый бегун возвращается по своей дорожке. У линии старта они собираются вместе. Возникает эхо.

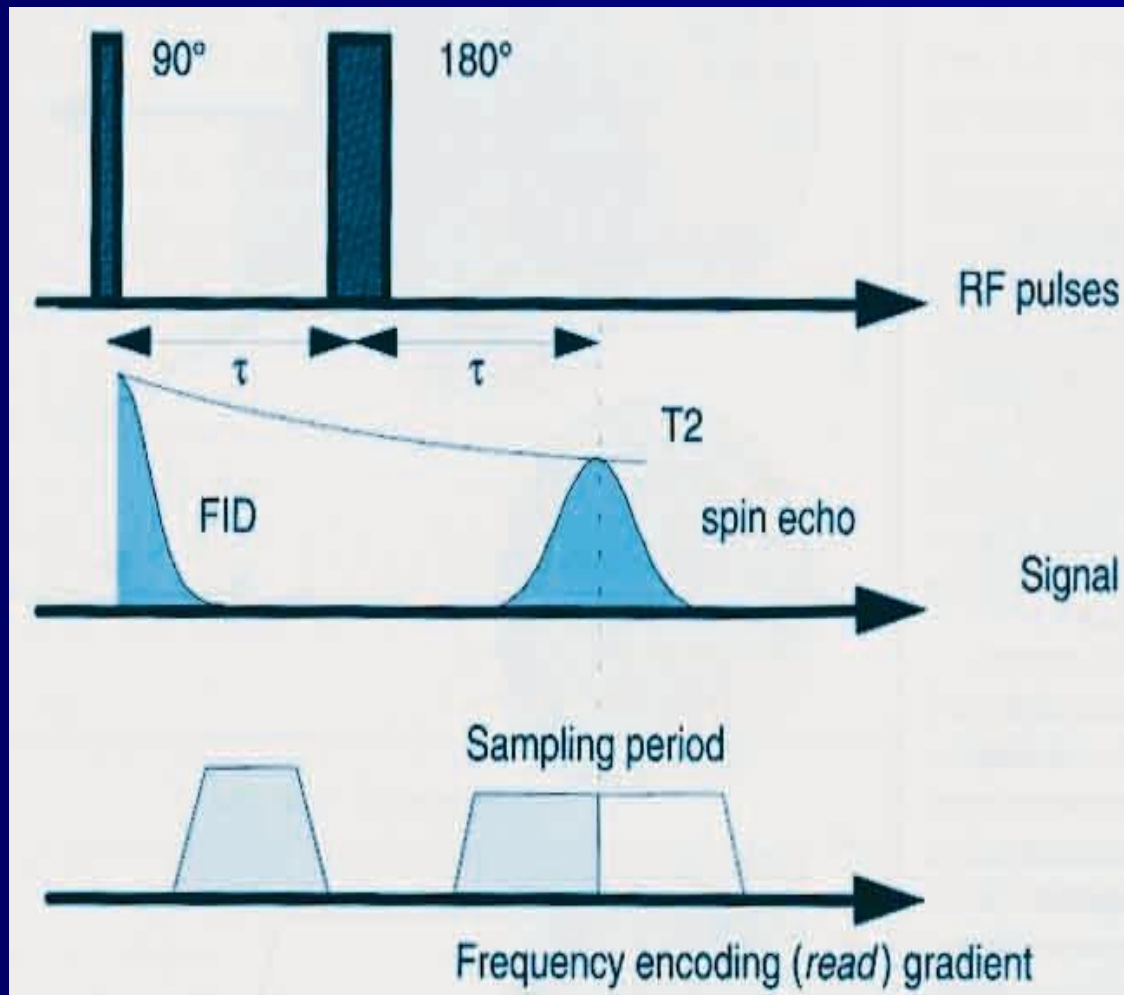
Образование градиентного эха

Диаграмма импульсной последовательности



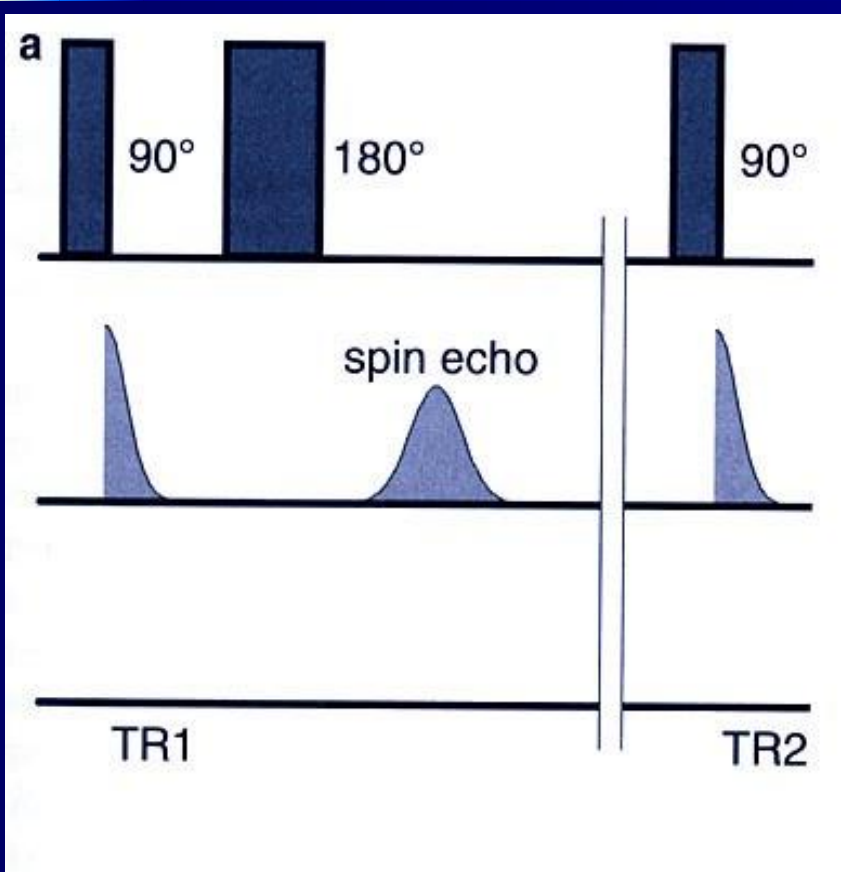
Вместо 180° -импульса здесь используется градиентный импульс ($-G$), за которым следует другой градиентный импульс ($+G$). Он и вызывает градиентное эхо. Сигналы спин-эхо спадают в соответствии с $T2$, т.к. для них все эффекты локальных неоднородностей магнитного поля взаимно уничтожаются. В случае градиентных эхо-сигналов же спад сигнала определяется временем $T2^*$, которое всегда короче $T2$.

Метод спин-эхо-томографии

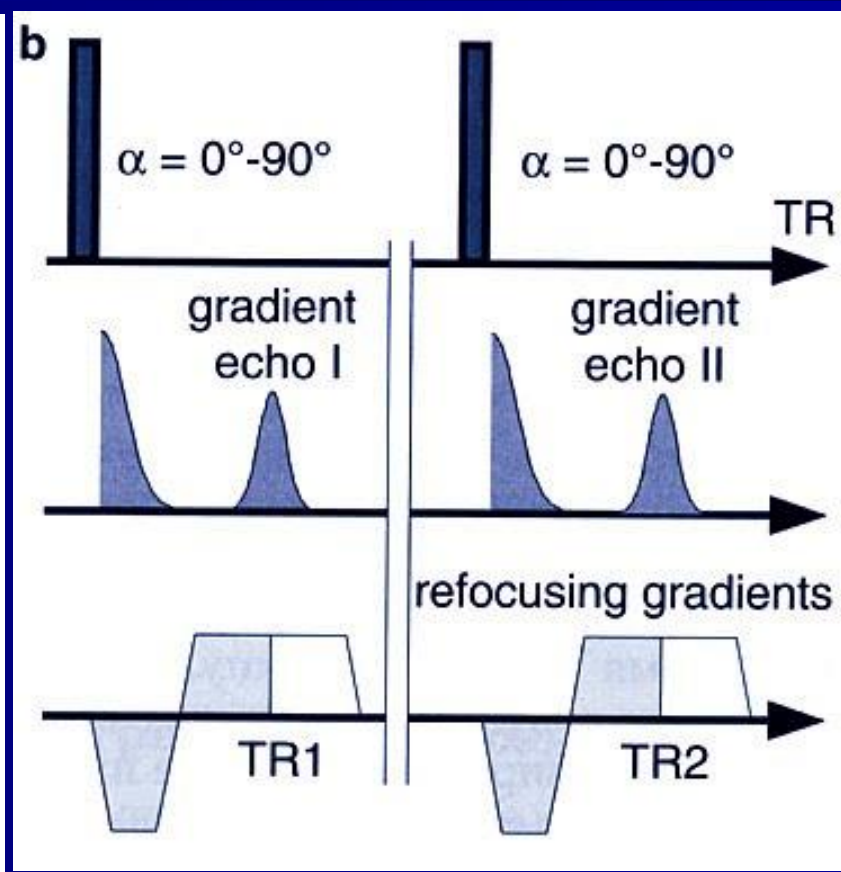


Градиентный импульс, расположенный между 90° и 180° - импульсами по площади равен заштрихованной части градиента, который включается после 180° -импульса. Так как 180° -имп. индуцирует обращение фаз, то эффекты наложения градиента не мешают образованию эхо-сигнала.

Стандартная спин-эхо последовательность в сравнении с быстрым томографированием типа FLASH



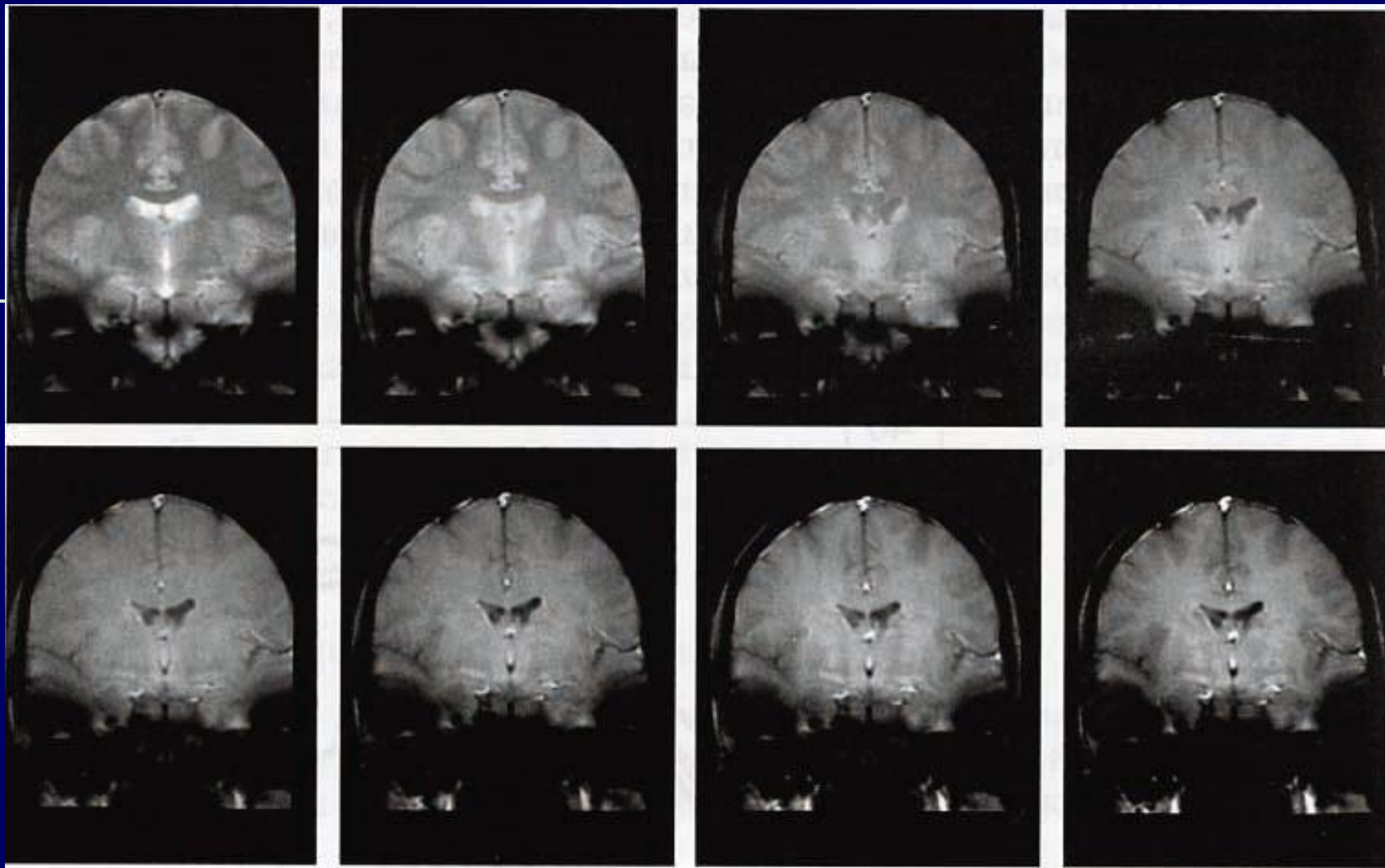
SE-последовательность.



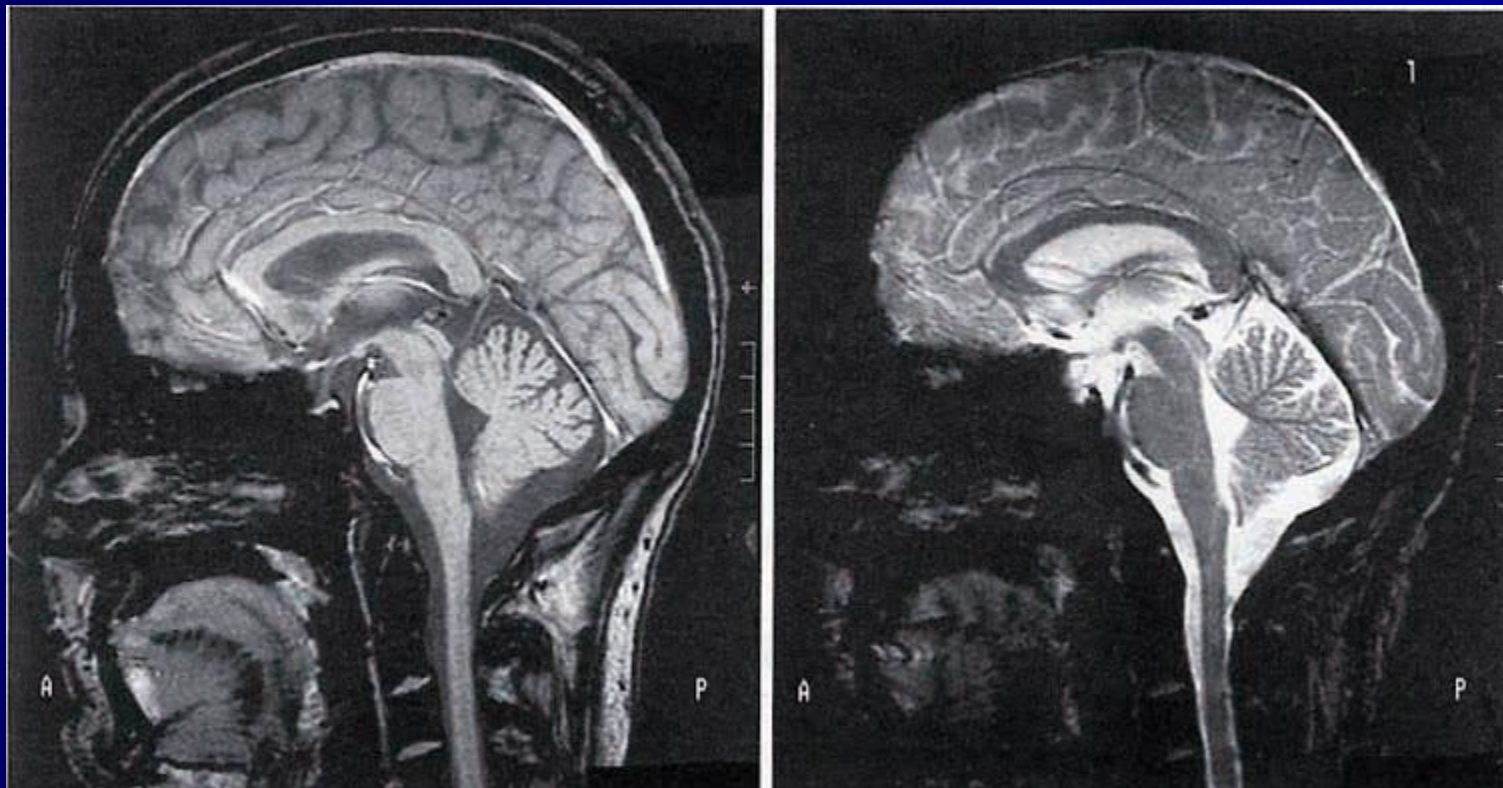
FLASH-последовательность. Эхо создается переключением градиента.

Угол отклонения.

- В условиях, когда $TR \ll T1$, наиболее эффективны импульсы с малыми углами отклонения, которые ведут к частичному насыщению системы, так как даже при сокращении $TR < 10$ мс сохраняется возможность получения изображения с отношением сигнал/шум, достаточным для диагностики.

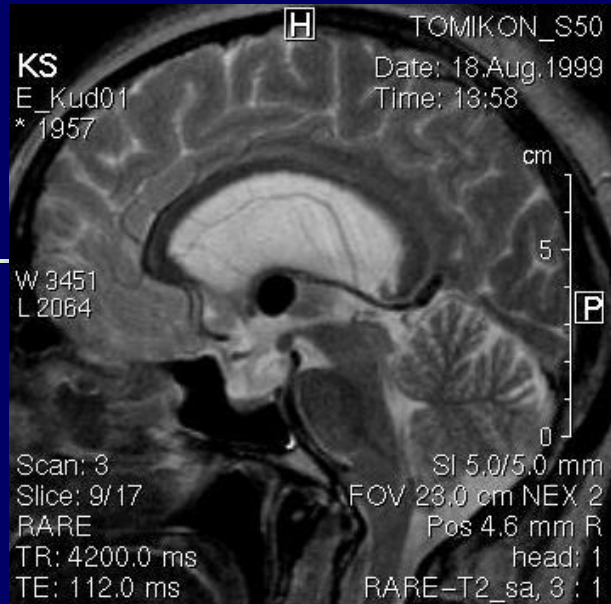


Последовательность градиентных эхо-сигналов – серия томограмм мозга здорового человека. $TR=300$ мс, $TE=19$ мс, $A=10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ (от левого верхнего снимка к нижнему правому). С ростом угла отклонения томограммы становятся все более T1-взвешенными.

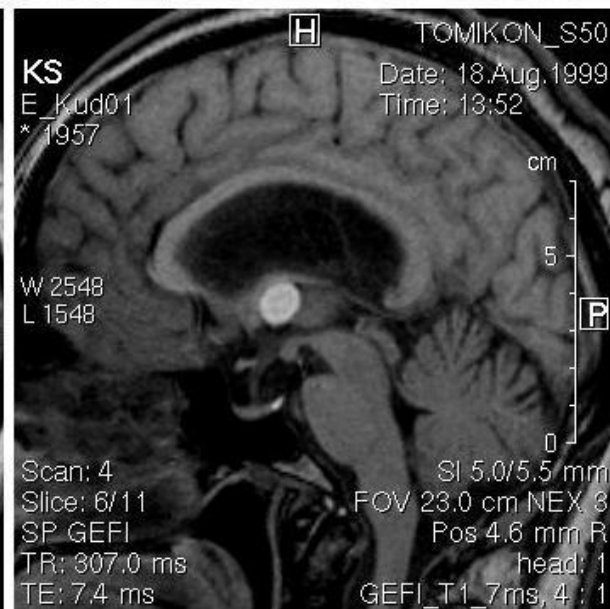
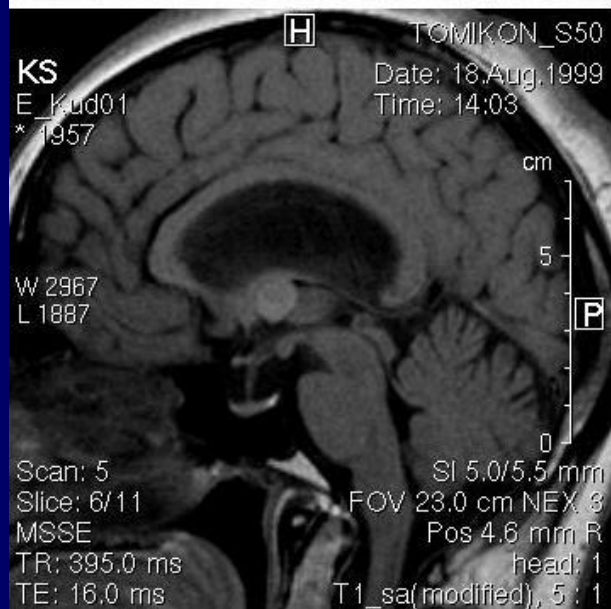
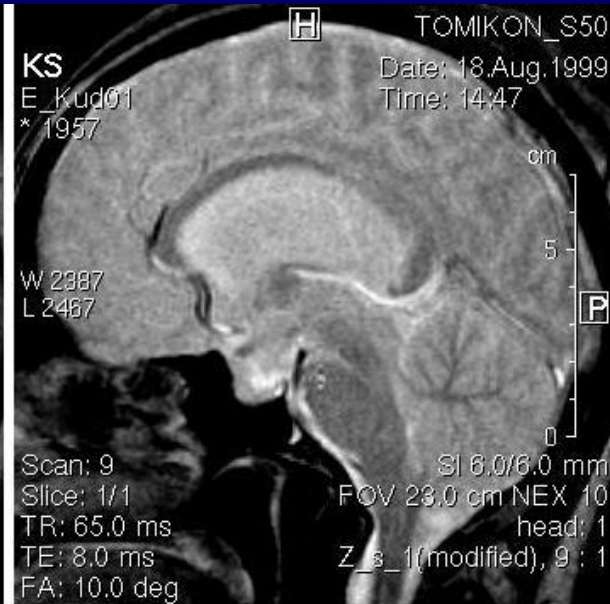


GRE-сагиттальные томограммы мозга. Слева – промежуточное взвешивание с сильной T1 – зависимостью. Справа – T2*-взвешивание.

T2 – w, SE



T2*- w, GRE



T1 – w, SE

T1 – w, GRE

T2 – w, TSE

T1 – w, GRE

