



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년05월30일  
(11) 등록번호 10-1625735  
(24) 등록일자 2016년05월24일

- |   |  |
|---|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br/>A61B 5/055 (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2014-0040651</p> <p>(22) 출원일자 2014년04월04일<br/>심사청구일자 2014년08월14일</p> <p>(65) 공개번호 10-2014-0121363</p> <p>(43) 공개일자 2014년10월15일</p> <p>(30) 우선권주장<br/>10 2013 206 026.2 2013년04월05일 독일(DE)</p> <p>(56) 선행기술조사문헌<br/>JP2012192185 A<br/>KR1020020070771 A<br/>US20040015071 A1<br/>US20090177078 A1</p> | <p>(73) 특허권자<br/>지멘스 악티엔게젤샤프트<br/>독일 뮌헨 80333 비텔스파허프라썸 2</p> <p>(72) 발명자<br/>스테머, 알토<br/>독일 91054 에를랑겐 시에글리트조퍼 스트라썸 53</p> <p>(74) 대리인<br/>양영준, 백만기, 정은진</p> |
|---|--|

전체 청구항 수 : 총 12 항

심사관 : 최성수

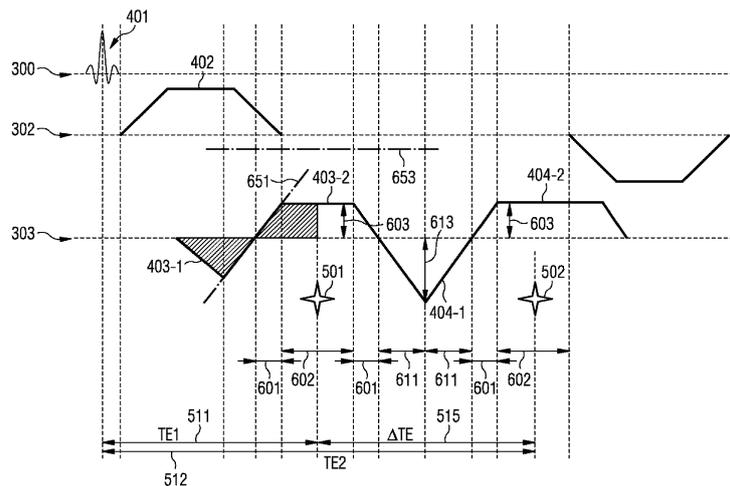
(54) 발명의 명칭 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하는 방법 및 자기 공명 시스템

(57) 요약

멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하는 방법 및 자기 공명 시스템.

연속적인 그래디언트 에코들 간의 미리정해진 시간차(515)( $\Delta TE$ )가 주어진 상황에서 공간 해상도를 최적화하는 목표를 갖는 멀티 에코 측정 시퀀스의 구현을 위한 기술이 기재된다. 그래디언트 펄스 파라미터(601, 603, 611, 613)는 한편으로는 에코 시간(511, 512) 간의 미리정해진 시간차(515)와 다른 한편으로는 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭(653) 및 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 변화율(651)의 몫 간의 정의된 비율에 따라 선택된다.

대표도



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

증가된 공간 해상도를 갖는 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하는 방법으로서, 적어도 2개의 그래디언트 에코가 연속적인 그래디언트 에코들 간의 미리정해진 시간차(515)( $\Delta TE$ )를 두고 순차적으로 형성되고, 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭(653) 및 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 변화율(651)은 초과되지 않고,

상기 방법은

a) 상기 미리정해진 시간차(515)( $\Delta TE$ ) 및

b) 상기 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭(653) 및 상기 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 변화율(651)의 몫

간의 비율을 결정하는 단계;

프리페이징(pre-phasing) 그래디언트 펄스(403-1)를 인가하는 단계;

플랫톱(flattop) 시간(602) 및 진폭(603)을 포함하는 제1 판독 그래디언트 펄스 파라미터들(602, 603)을 갖는 제1 판독 그래디언트 펄스(403-2)를 인가하는 단계; 및

플랫톱 시간(602) 및 진폭(603)을 포함하는 제2 판독 그래디언트 펄스 파라미터들(602, 603)을 갖는 제2 판독 그래디언트 펄스(404-2)를 인가하는 단계

를 포함하고,

상기 제1 판독 그래디언트 펄스 파라미터들(602, 603)은 상기 결정된 비율에 따라 선택되고,

상기 제2 판독 그래디언트 펄스 파라미터들(602, 603)은 상기 결정된 비율에 따라 선택되는 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 멀티 에코 측정 시퀀스는 단극성 그래디언트 에코 측정 시퀀스이고,

상기 방법은 상기 제1 및 제2 판독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2) 간에서 플라이백 플랫톱 시간 및 플라이백 진폭(613)을 포함하는 플라이백 그래디언트 펄스 파라미터들(613)을 갖는 플라이백 그래디언트 펄스(404-1)를 인가하는 단계를 더 포함하고,

상기 플라이백 그래디언트 펄스 파라미터들(613)은 상기 결정된 비율에 따라 선택되는 방법.

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 제1 판독 그래디언트 펄스 파라미터들(602, 603)은 상기 제2 판독 그래디언트 펄스 파라미터들(602, 603)과 동일한 방법.

#### 청구항 4

제2항에 있어서, 상기 결정된 비율에서, 상기 몫이 상기 시간차(515)( $\Delta TE$ )의 미리 정의된 분수(A)보다 작으면, 상기 진폭(603) 및 상기 플라이백 진폭(613)은 상기 최대 그래디언트 펄스 진폭(653)과 동일하도록 선택되는 방법.

#### 청구항 5

제4항에 있어서, 상기 분수(A)는 1/12인 방법.

#### 청구항 6

제2항, 제4항, 또는 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 몫이 상기 시간차(515)( $\Delta TE$ )의 미리 정의된 분수(B)보다 크면, 상기 진폭(603) 및 상기 플라이백 진폭(613)은 상기 최대 그래디언트 펄스

진폭(653)보다 작도록 선택되는 방법.

**청구항 7**

제6항에 있어서,

상기 분수(B)는 2/9이고,

상기 진폭(603)은 최대 변화율(651) 및 시간차(515)( $\Delta TE$ )의 곱의 팩터(C)와 동일하게 선택되고,

상기 플라이백 진폭(613)은 유리하게 상기 진폭(603)의 2배로 선택되는 방법.

**청구항 8**

제4항에 있어서, 상기 결정된 비율에서, 상기 몫이 미리 정의된 분수(B)보다 작고 상기 분수(A)보다 크면, 상기 진폭(603)은 상기 최대 그래디언트 펄스 진폭(653)보다 작게 선택되고, 상기 플라이백 진폭(613)은 상기 최대 그래디언트 펄스 진폭(653)과 동일하도록 선택되는 방법.

**청구항 9**

제8항에 있어서,

상기 진폭(603)은 상기 최대 그래디언트 펄스 진폭(563)의 분수(E)와 동일하도록 선택되고,

$E(x+1)/2$ 이고,

x는 식

$$(x + 2)(x + 3)^2 = 4 \frac{S_{\max} \Delta TE}{G_{\max}}$$

의 해(solution)이고,

$S_{\max}$  는 상기 최대 그래디언트 펄스 변화율(651)이고,

$G_{\max}$  는 상기 최대 그래디언트 펄스 진폭(653)인 방법.

**청구항 10**

제1항, 제2항, 제4항, 제5항, 제8항, 또는 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 관독 그래디언트 펄스(403-2) 및/또는 상기 제2 관독 그래디언트 펄스(404-2)의 램프(ramp) 시간(601)은 상기 최대 그래디언트 펄스 변화율(651)을 고려하여 최소가 되도록 선택되는 방법.

**청구항 11**

증가된 공간 해상도를 갖는 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하도록 셋업된 자기 공명 시스템(100)으로서, 적어도 2개의 그래디언트 에코가 연속적인 그래디언트 에코들 간의 미리정해진 시간차(515)( $\Delta TE$ )를 두고 순차적으로 형성되고, 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭(653) 및 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 변화율(651)은 초과되지 않고,

상기 자기 공명 시스템(100)은

- a) 상기 미리정해진 시간차(515)( $\Delta TE$ )와
- b) 상기 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭(653) 및 상기 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 변화율(651)의 몫

간의 비율을 결정하도록 셋업된 컴퓨터(160)를 포함하고,

상기 자기 공명 시스템(100)은,

프리페이징(pre-phasing) 그래디언트 펄스를 인가하는 단계;

플랫톱(flattop) 시간(602) 및 진폭(603)을 포함하는 제1 관독 그래디언트 펄스 파라미터들(602, 603)을 갖는 제1 관독 그래디언트 펄스(403-2)를 인가하는 단계; 및

플랫톱 시간(602) 및 진폭(603)을 포함하는 제2 관독 그래디언트 펄스 파라미터들(602, 603)을 갖는 제2 관독 그래디언트 펄스(404-2)를 인가하는 단계

를 구현하도록 셋업된 그래디언트 시스템(140)을 더 포함하고,

상기 제1 관독 그래디언트 펄스 파라미터들(602, 603)은 상기 결정된 비율에 따라 선택되고,

상기 제2 관독 그래디언트 펄스 파라미터들(602, 603)은 상기 결정된 비율에 따라 선택되는 자기 공명 시스템(100).

**청구항 12**

제11항에 있어서, 상기 자기 공명 시스템(100)은 또한 제1항, 제2항, 제4항, 제5항, 제8항, 또는 제9항 중 어느 한 항에 따른 방법을 구현하도록 셋업될 수 있는 자기 공명 시스템(100).

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명의 다양한 실시예는 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하는 방법 및 자기 공명 시스템에 관한 것이다. 특히, 다양한 실시예는 연속적인 그래디언트 에코(gradient echo)들 간의 미리정해진 시간차가 주어진 상황에서 증가된 공간 해상도가 가능한 기술에 관한 것이며, 이 기술에서, 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭 및 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 변화율이 초과되지 않는다.

**배경 기술**

[0002] 상이한 에코 시간을 갖는 다수의 MR 이미지가 각각 피검자의 상이한 해부학적 슬라이스들로부터 얻어지는 자기 공명(MR) 촬영의 멀티 에코 측정 시퀀스가 알려져 있다. 상이한 에코 시간 때문에, 다수의 MR 이미지는 일반적으로 상이한 콘트라스트를 갖는다. 상이한 콘트라스트를 갖는 MR 이미지들이 화학적 시프트 기술로서 알려진 것에 적용될 수 있고, 여기에서는 상이한 스핀 종들(spin species)의 분리(separation)가 발생한다.

[0003] 멀티 에코 측정 시퀀스는, MR 이미지들이 매우 특징적이고 잘 정의된 에코 시간에 얻어지도록 빈번히 구현된다. 예를 들어, 에코 시간들의 구체적인 선택은 MR 이미지들의 원하는 적용에 의존할 수 있다. 일반적인 적용의 하나의 예는 지방/수분 분리일 수 있다. 구해진 에코 시간들은 일반적으로 기본 자계의 강도(필드 강도에 종속)에 의존하여, 사실 상 제1 MR 이미지의 에코 시간(TE1), 및 연속적으로 획득된 MR 이미지들의 에코 시간들 간의 시간 간격 또는 시간차(ΔTE)가 MR 시스템의 기본 자계의 강도에 역비례하여 감소한다. 일반적인 기본 자계 강도는 예를 들어 1.5 테슬라, 3 테슬라, 5 테슬라 또는 7 테슬라일 수 있다.

[0004] 다양한 타입의 멀티 에코 측정 시퀀스가 공지되어 있다. 종래의 멀티 에코 측정 시퀀스에서, 검출된 모든 MR 에코는 (다양한 에코 시간에) 가로 자화(transversal magnetization)의 여기를 위한 분리된 무선 주파수(RF) 펄스(RF 여기 펄스) 후의 기간으로서 각각 검출된다. 즉, RF 여기 펄스 후에 개별 반복 간격(TR 간격)으로 다수(n)의 MR 에코가 각각 검출된다. 그러므로, 이러한 기술은 또한 n-에코 n-TR 어프로치로서 당업자에게 알려져 있다. n-에코 n-TR 기술은 예를 들어 그래디언트 에코의 검출과 관련하여 공지되어 있다.

[0005] 관독 방향(주파수 코딩 방향)의 MR 이미지의 해상도는 일반적으로 푸리에 픽셀 사이즈(Δx)에 의해 정의된다. 푸리에 픽셀 사이즈는 관독 포인트(Nx)의 수로 나누어진 관독 방향의 시야(field of view)의 크기이다. 시야는 MR 이미지로 묘사된 검사 대상의 영역을 지정한다. 푸리에 픽셀 사이즈(Δx)가 작을수록, 해상도는 높아진다. 푸리에 픽셀 사이즈는 관독 그래디언트의 0번째 모멘트에 역비례한다.

[0006]  $\Delta x = 2\pi / (\gamma M0x)$

[0007] γ는 자기 회전(gyromagnetic) 비율이다. 물 양성자에 대하여, 자기 회전 비율은 γ/(2π)=42.576MHz/T이다. 관독 그래디언트의 0번째 모멘트는 관독 시간 동안 관독 그래디언트의 진폭의 시간 적분이고, 이는 종종 관독 그래디언트의 "영역"으로서 표기된다. 관독 그래디언트가 전체 관독 시간 동안 일정하면, 0번째 모멘트(M0x)는

판독 그래디언트의 진폭 및 판독 시간의 곱이다.

[0008] 그래디언트 에코 촬영에서, 판독 방향의 프리페이징(pre-phasing) 그래디언트 펄스의 판독 그래디언트와 여기(excitation) 사이에서 스위칭이 빈번히 이루어지고, 0번째 모멘트는 에코 시점과 판독 그래디언트의 시작 사이의 판독 그래디언트 모멘트와 동일한 크기를 갖는다. 전체 모멘트가 정확히 에코 시점에서 사라지도록 프리페이징 그래디언트 펄스의 방향은 일반적으로 판독 그래디언트의 방향과 반대이다. 에코 시간은 종종 여기 펄스의 중심과 에코 시점 사이의 시간이다. 예를 들어, 에코 시간은 또한 스핀 에코와 에코 시점 사이의 시간일 수 있다.

[0009] 그래디언트 펄스의 최대 진폭 및 가장 짧은 상승 시간은 일반적으로 기술적으로 및/또는 생리학적으로 제한될 수 있으므로, 주어진 그래디언트 에코 기반 n-에코 n-TR 기술의 최대 해상도는 종래에서는 가장 짧은 펄스 그래디언트 에코 시간(TE1)에 의해 제한되지만, 연속적인 그래디언트 에코의 가장 짧은 시간차( $\Delta TE$ )에 의해 추가로 제한되지 않는다. 그러나, 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하는데 필요한 총 지속기간(측정 지속기간)은 비교적 길다. 또한, 이러한 기술은 빈번하게 상이한 그래디언트 에코의 검출 간의 시간 간격을 확장한다. 이것은 특히 피검자가 자신의 호흡을 유지하면서 호흡 인공물을 피하도록 구현되는 측정에서 부정적인 효과를 유발할 수 있다. 또한, 예를 들어 측정 동안 생리학적 프로세스 또는 히팅(heating)의 결과로서 기본 자계의 시간 의존적 드리프트는 상이한 에코 시점들을 갖는 개별 MR 이미지들 간의 추가의 위상차를 유발할 수 있다. MR 이미지의 후속 평가는 제한된 범위로만 가능하고 가능한 정량 분석은 비교적 큰 에러로 고통받을 수 있다.

[0010] 상술한 n-에코 n-TR 기반 측정 시퀀스와 다른 멀티 에코 측정 시퀀스가 공지되어 있다. 예를 들어, 상이한 에코 시점들에 또는 단일 RF 여기 펄스 후의 에코 시간들에 각각 다수의 MR-에코를 검출하는 멀티 에코 측정 시퀀스가 또한 공지되어 있다. 하나의 RF 펄스를 따르는 다수 MR-에코들의 검출은 또한 TR별 n-에코 기술이라 한다. TR별 n-에코 기술은 감소된 측정 지속기간의 이점을 갖는다. 미리정해진 상이한 에코 시점들 때문에, 이러한 멀티 에코 측정 시퀀스들이 주어지면, 최대 달성가능 공간 해상도는 일반적으로 제1 에코 시간(TE1)에 의해 제한되고 연속적인 에코들 간의 시간차( $\Delta TE$ )에 의해 추가적으로 제한된다. 특히, 에코의 검출을 위해 제공되는 기간은 또한 기간( $\Delta TE$ ) 후에 다음 에코가 이미 형성되고 검출되어야 한다는 점에서 제한된다는 것에 유념한다.

[0011] 최대 그래디언트 진폭 및/또는 그래디언트 펄스의 최대 상승 시간 및 하강 시간 또는 MR 시스템의 변화율이 종종 기술적으로 및/또는 생리학적으로 제한된다. 예를 들어, 그래디언트 에코의 검출을 위해, 종종 초기에 프리페이징 그래디언트 펄스들을 스위칭하고 후속으로 그래디언트 에코의 판독 동안 판독 그래디언트 펄드들을 스위칭할 필요가 있다. 이에 이용가능한 기간은 일반적으로 미리정해진 상이한 에코 시점들 또는 연속적인 시점들 간의 시간차에 의해 제한되기 때문에, 판독 그래디언트의 최대 0번째 모멘트( $M0x$ )(및 따라서 성취가능한 공간 해상도)가 종종 이에 따라 제한된다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0012] 그러므로, 개선된 멀티 에코 측정 시퀀스가 필요하다. 특히, 연속적인 그래디언트 에코들 간의 미리정해진 시간차가 주어진 상황에서 획득된 MR 이미지들의 비교적 높은 공간 해상도를 제공하는 기술이 필요하다. 추가적으로, 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭 및 최대 그래디언트 펄스 변화율을 초과하지 않고 최적으로 짧은 측정 지속기간을 갖는 기술이 필요하다.

**과제의 해결 수단**

[0013] 본 목적은 독립 청구항의 특징에 의해 달성된다. 종속 청구항의 특징은 실시예를 정의한다.

[0014] 일 형태에 따르면, 본 발명은 증가된 공간 해상도를 갖는 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하는 방법에 관한 것이다. 멀티 에코 측정 시퀀스에서, 적어도 2개의 그래디언트 에코가 연속적인 그래디언트 에코들 간의 미리정해진 시간차를 두고 순차적으로 형성된다. 멀티 에코 측정 시퀀스에서, 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭 및 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 변화율은 초과되지 않는다. 방법은 상기 미리정해진 시간차와 상기 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭 및 상기 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 변화율의 몫 간의 비율을 결정하는 단계를 포함한다. 또한 방법은 프리페이징(pre-phasing) 그래디언트 펄스를 인가하는 단계를 포함한다. 또한 방법은 플랫톱(flattop) 시간 및 진폭을 포함하는 제1 판독 그래디언트 펄스 파라미터들을 갖는 제1 판독 그래디언트 펄스를 인가하는 단계를 포함한다. 상기 판독 그래디언트 펄스 파라미터는 상기 결정된 비율에 따라

선택된다. 또한, 방법은 플랫폼 시간 및 진폭을 포함하는 제2 관독 그래디언트 펄스 파라미터들을 갖는 제2 관독 그래디언트 펄스를 인가하는 단계를 포함한다. 상기 제2 관독 그래디언트 펄스 파라미터들은 상기 결정된 비율에 따라 선택된다.

- [0015] 관독 그래디언트 펄스는 일반적으로 사다리꼴이다. 플랫폼 시간은 일반적으로 그래디언트 펄스의 플랫폼, 즉, 그래디언트 펄스 진폭의 변화가 약하거나 제로인 영역을 지정한다. 이 영역은 또한 그래디언트 펄스의 플래토우(plateau)으로서 지정될 수 있다.
- [0016] 관독 방향에서, 프리페이징 그래디언트 펄스는, 제1 그래디언트 에코의 원하는 에코 시점에서 제1 관독 그래디언트 펄스에 의해 획득된 모멘트를 가능한 한 정확하게 보상하도록 선택될 수 있다.
- [0017] MR 데이터는 일반적으로 플랫폼 시간 동안에만 획득된다. 관독 MR 신호가 획득 또는 (연속적인 관독 시점들 간의 시간을 지정하는) 일정한 거주(dwell) 시간으로 통상 디지털화되므로, 그러한 경우 관독점의 관독 시간과 kx 좌표(k 공간 내의 kx 방향) 사이에 선형 보정이 존재한다. 그러므로, 관독 MR 신호는 고속 푸리에 변환으로 k 공간으로부터 이미지 공간 또는 하이브리드 공간으로 직접 즉, 추가의 보간(리그리딩(regriding))으로 알려짐 없이 변환될 수 있다. 램프 샘플링(ramp sampling)으로서 알려진 것을 고려하면, MR 데이터는 관독 그래디언트 펄스의 램프 동안 추가적으로 획득된다. 램프 샘플링이 있거나 없이 동일한 해상도를 달성하기 위하여, k 공간 내의 동일한 경로가 일반적으로 관독 시간 동안 횡단되어야 한다. MR 데이터가 관독 그래디언트 펄스의 전체 램프 시간 동안 획득되면, 예를 들어, 램프 샘플링 없이 전체 관독 그래디언트 펄스의 0번째 모멘트가 플랫폼만의 0번째 모멘트와 동일하도록 선택할 가치가 있다. 램프 샘플링을 갖는 그래디언트 시스템의 주어진 기술 능력에 대하여, 램프 샘플링이 없는 실시예에서보다 더 짧은 시간 내에 원하는 해상도가 달성될 수 있다. 따라서, 더 높은 해상도가 주어진 시간차에 대하여 달성될 수 있다.
- [0018] 램프 샘플링은 예를 들어 "Ramp sampling strategies for high resolution single-pass Dixon imaging at 3T" in Proc. Int. Soc. Mag. Reson. Med. 15 (2010) 1044로부터 듀얼 에코 3D 그래디언트 에코 시퀀스와 관련하여 당업자에게 공지되어 있다.
- [0019] 관독 방향의 증가된 해상도는 램프 샘플링에 의해 달성될 수 있다. 그러나, 관독 방향의 해상도가 연속적인 에코 시간들 간의 시간차에 의해 제한되는 문제점이 남아 있다.
- [0020] 연속적인 에코들 간의 시간차는 일반적으로 에코 시간들에 의해 미리 결정된다. 에코 시간들은 일반적으로 MR 촬영의 원하는 적용, 예를 들어, 지방/수분 분리에 의해 미리 결정된다. 최대 그래디언트 펄스 진폭은 통상 해당 MR 시스템의 그래디언트 시스템의 특징적인 수이고, 예를 들어, 기술적으로 제한될 수 있다. 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 변화율은, 피검자의 말초 신경 자극을 피하기 위하여, 종종 그래디언트 시스템의 기술적 최대 가능 변화율보다 작게 선택된다.
- [0021] 미리정해진 시간차와 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭 및 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 변화율의 뭉간의 비율이 초기에 결정될 수 있다. 비율을 결정함으로써, 그래디언트 펄스의 그래디언트 형상을 각각 선택하여 관독 방향의 해상도가 유리하게 주어진 경계 조건 하에서 최대가 되도록 할 수 있다. 관독 시간 동안의 관독 그래디언트의 0번째 모멘트는 k 공간에서 횡단되는 경로에 비례한다.
- [0022] 비율은, 그래디언트 형상이 상이한 경계 조건 하에서 관독 그래디언트의 플랫폼 하의 영역을 최대화하고 이에 의해 최대 해상도를 달성하는 요법(regimen)의 특징일 수 있다. 미리정해진 시간차 및 유한 그래디언트 펄스 변화율 때문에, 최대 영역은 반드시 최대 그래디언트 진폭에서 달성되는 것은 아니며 오히려 결정된 비율에 따라 다른 값에서 달성된다.
- [0023] 이러한 고려사항은 원칙적으로, 최대 가변 멀티 에코 측정 시퀀스에서, 예를 들어, 연속적인 관독 그래디언트 펄스들이 그래디언트 펄스 진폭으로서 역 극성을 갖는 주어진 양극성 멀티 에코 측정 시퀀스에서 적용될 수 있다.
- [0024] 단극성 멀티 에코 측정 시퀀스로서 공지된 것이 주어지면, 연속적인 관독 그래디언트들은 동일한 극성을 갖는다. 제1 및 제2 관독 그래디언트 펄스 사이에서, 방법은 플라이백 플랫폼 시간 및 플라이백 진폭을 포함하는 플라이백 그래디언트 펄스 파라미터들을 갖는 플라이백 그래디언트 펄스를 인가하는 단계를 더 포함할 수 있다. 플라이백 그래디언트 펄스 파라미터들은 결정된 비율에 따라 선택될 수 있다.
- [0025] 따라서, 플라이백 그래디언트 펄스는 가로 자화의 위상을 적절히 조절하여 그래디언트 에코들 중의 하나가 제2 관독 그래디언트 펄스의 인가 동안에 형성되도록 할 수 있다. 따라서, 플라이백 그래디언트 펄스는, 2개의 관

독 그래디언트 펄스의 결과로서 제1 그래디언트 에코 후에 그리고 제2 그래디언트 에코 전에 스핀이 획득하는 위상을 최적으로 정확하게 보상하는 임무를 가질 수 있다. 따라서, 플라이백 그래디언트 펄스는 일반적으로 프리페이징 그래디언트 펄스와 동일한 극성을 갖고 2개의 관독 그래디언트 펄스와 역극성을 갖는다.

- [0026] 양극성 관독 방식의 사용은 일반적으로 단극성 관독 방식의 사용보다 시간적으로 더 효율적이다. 그러나, 단극성 관독 방식은 다른 이점을 가질 수 있다. 예를 들어, 상이한 공명 주파수들을 갖는 스핀 종들은 연속적인 콘트라스트들로 동일한 방향으로 시프트된다. 이에 반하여, 양극성 관독 방식에서는, 시프트 방향이 서로 반대이고[원문 그대로임], 이는 디스 등의 포스트프로세싱 방식에 어려움을 제공할 수 있다.
- [0027] 제1 관독 그래디언트 펄스 파라미터를 제2 관독 그래디언트 펄스 파라미터와 동일하게 선택할 수 있다. 따라서 진폭 및 플랫폼 시간 또는 관독 간격은 동일한 크기 또는 동일한 길이일 수 있다. 또한, 제1 관독 그래디언트 펄스는 제1 그래디언트 에코에 대하여 대칭일 수 있고, 제2 관독 그래디언트 펄스는 제2 그래디언트 에코에 대하여 대칭일 수 있다.
- [0028] 즉, 제1 및 제2 관독 그래디언트 펄스의 그래디언트 형상은 비교가능하다. 이것은 특히 비교적 효율적인 간단한 멀티 에코 측정 시퀀스를 가능하게 할 수 있다.
- [0029] 정의된 비율에서, 몫이 시간차의 미리 정의된 분수(A)보다 작으면, 진폭 및 플라이백 진폭은 최대 그래디언트 펄스 진폭과 동일하도록 선택된다. 예를 들어, 상이한 실시예에서, 분수(A)는 1/12일 수 있다.
- [0030] 따라서, 정의된 비율의 요법은 관독 그래디언트 펄스의 진폭 및 플라이백 진폭이 최대 그래디언트 펄스 진폭과 동일하도록 선택된다는 점에서 특징이 있도록 정의될 수 있다.
- [0031] 정의된 비율에서, 몫이 시간차의 미리 정의된 분수(B)보다 크면, 진폭 및 플라이백 진폭은 최대 그래디언트 펄스 진폭보다 작도록 선택될 수 있다.
- [0032] 예를 들어, 분수(B)는 2/9일 수 있다. 진폭은 최대 변화율 및 시간차의 곱의 팩터(C)와 동일하게 선택될 수 있다. 플라이백 진폭은 진폭의 2배로 선택될 수 있다. 예를 들어, 팩터(C)는 1/9일 수 있다.
- [0033] 따라서, 정의된 비율의 추가의 요법은 관독 그래디언트 펄스의 진폭 및 플라이백 진폭이 최대 그래디언트 펄스 진폭보다 작도록 선택된다는 점에서 특징이 있도록 정의될 수 있다.
- [0034] 정의된 비율에서, 몫이 미리 정의된 분수(B)보다 작고 분수(A)보다 크면, 진폭은 상기 최대 그래디언트 펄스 진폭보다 작게 선택되고, 상기 플라이백 진폭은 상기 최대 그래디언트 펄스 진폭과 동일하도록 선택될 수 있다. 예를 들어, 진폭은 최대 그래디언트 펄스 진폭의 분수(E)와 동일하도록 선택될 수 있고,  $E(x+1)/2$ 이고, x는 식 
$$(x + 2)(x + 3)^2 = 4 \frac{S_{\max} \Delta TE}{G_{\max}}$$
의 해(solution)이고,  $S_{\max}$ 는 상기 최대 그래디언트 펄스 변화율(651)이고,  $G_{\max}$ 는 상기 최대 그래디언트 펄스 진폭(653)이다.
- [0035] 따라서, 정의된 비율의 추가의 요법은 관독 그래디언트 펄스의 진폭이 최대 진폭보다 작게 선택되고 플라이백 진폭이 최대 그래디언트 펄스 진폭과 동일하게 선택된다는 점에서 특징이 있도록 정의될 수 있다.
- [0036] 제1 관독 그래디언트 펄스 및/또는 상기 제2 관독 그래디언트 펄스의 램프(ramp) 시간은 상기 최대 그래디언트 펄스 변화율을 고려하여 최소가 되도록 선택될 수 있다. 특히, 높은 공간 해상도는 이러한 방식으로 달성될 수 있다.
- [0037] 선행하는 기술에 따르면, 그래디언트 펄스의 진폭은 각각 정의된 비율에 따라 선택되어, 얻어진 MR 이미지의 해상도는 최대 그래디언트 펄스 변화율 뿐만 아니라 시간차 및 최대 그래디언트 펄스 진폭의 미리정해진 경계 조건 하에서 최대이다. 이들 기술은, 최대 해상도에 대하여 진폭 또는 플라이백 진폭을 최대로 선택하는 것이 반드시 최적이 아니라는 인식에 기초한 것이다. 특정 멀티 에코 측정 시퀀스에 따라 상이한 요법 제한이 발생하지만, 정의된 비율에 대한 기본 종속성은 일반적으로 남아 있다.
- [0038] 다른 양태에 따르면, 본 발명은 증가된 공간 해상도를 갖는 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하도록 셋업된 자기 공명 시스템에 관한 것이다. 여기서, 적어도 2개의 그래디언트 에코가 연속적인 그래디언트 에코 간의 미리정해진 시간차를 두고 순차적으로 형성되고, 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭 및 미리정해진 그래디언트 펄스 변화율은 초과되지 않는다. 자기 공명 시스템은 a) 미리정해진 시간차와 b) 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭 및 상기 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 변화율의 몫 간의 비율을 결정하도록 셋업된 컴퓨터를 포함

한다. 자기 공명 시스템은 프리페이징(pre-phasing) 그래디언트 펄스를 인가하는 단계; 플랫폼(flat top) 시간 및 진폭을 포함하는 제1 관독 그래디언트 펄스 파라미터들을 갖는 제1 관독 그래디언트 펄스를 인가하는 단계 - 상기 관독 그래디언트 펄스 파라미터들은 상기 정의된 비율에 따라 선택됨 -; 및 플랫폼 시간 및 진폭을 포함하는 제2 관독 그래디언트 펄스 파라미터들을 갖는 제2 관독 그래디언트 펄스를 인가하는 단계 - 상기 제2 관독 그래디언트 펄스 파라미터들은 상기 정의된 비율에 따라 선택됨 - 를 구현하도록 셋업된 그래디언트 시스템을 더 포함한다.

[0039] MR 시스템은 또한 본 발명의 다른 양태에 따라 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하도록 셋업될 수 있다.

[0040] 이러한 MR 시스템에 대하여, 본 발명의 다른 양태에 따라 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하는 방법에 대하여 달성될 수 있는 효과와 비교가능한 효과가 달성될 수 있다.

[0041] 상술한 특징 및 이하에서 설명하는 특징은 본 발명의 보호 범위를 벗어나지 않고 명시적으로 제시된 조합에서 뿐만 아니라 추가의 조합 또는 격리(isolation)에서 사용될 수 있다.

[0042] 이들이 달성되는 방법 뿐만 아니라 상술한 본 발명의 특성, 특징 및 이점은 도면을 참조하여 상세히 설명하는 예시적인 실시예의 설명과 결합하여 명확해지고 더 이해하기 쉬울 것이다.

**발명의 효과**

[0043] 본 발명에 따르면, 증가된 공간 해상도를 제공할 수 있는 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하는 방법 및 자기 공명 시스템을 제공할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0044] 도 1은 MR 시스템의 개략도.

도 2는 상이한 실시예에 따른 멀티 에코 측정 시퀀스의 시퀀스 방식을 나타내는 도면.

도 3은 도 2의 멀티 에코 측정 시퀀스에서 그래디언트 펄스 파라미터가 선택되는 것에 관한 요법(regimen)을 나타내는 도면.

도 4는 도 3으로부터의 상이한 요법에 대한 그래디언트 펄스 파라미터의 최적화된 값을 나타내는 도면.

도 5는 상이한 실시예에 따라 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하는 방법의 플로우차트.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0045] 다음에서, 본 발명은 도면을 참조하여 바람직한 실시예를 이용하여 상세히 설명한다. 도면 내의 동일한 참조 번호는 동일 또는 유사한 엘리먼트를 나타낸다.

[0046] 도 1에서, 본 발명에 따른 해당 기술, 방법 및 단계를 구현하도록 셋업된 MR 시스템(100)이 도시된다. MR 시스템(100)은 튜브(111)를 정의하는 자석(110)을 갖는다. 자석(110)은 그 세로축에 평행한 기본 자계를 생성할 수 있다. 베드 테이블(102) 상의 검사 대상(여기서는 피검자(101))는 자석(110)으로 미끄러져 들어간다. MR 시스템(100)은 또한 MR 촬영 및 획득된 MR 데이터의 공간적 코딩에 사용되는 그래디언트 펄드를 생성하는 그래디언트 시스템(140)을 갖는다. 그래디언트 시스템(140)은 일반적으로 서로에 대하여 잘 정의된 방식으로 위치 지정되고 개별적으로 제어될 수 있는 적어도 3개의 그래디언트 코일(141)을 포함한다. 그래디언트 코일(141)은 그래디언트 펄드가 정의된 공간 방향(그래디언트 축)을 따라 인가되고 스위칭되도록 한다. 해당 그래디언트 코일(141)은 또한 그래디언트 시스템(140)의 채널로서 표기된다. MR 시스템(100)의 머신 좌표 시스템은 그래디언트 코일(141)의 권선에 의해 정의될 수 있다. 그래디언트 펄드는 예를 들어 슬라이스 선택, (관독 방향의) 주파수 코딩 및 위상 코딩에 사용될 수 있다. 이에 의해 원 데이터(raw data)의 공간적 코딩이 달성될 수 있다. (각각 슬라이스 선택 그래디언트 펄드, 위상 코딩 그래디언트 펄드 및 관독(readout) 그래디언트 펄드에 각각 평행한) 공간 방향은 반드시 머신 좌표 시스템과 일치할 필요 없다. 오히려, 공간 방향은 예를 들어 각각의 측정 시퀀스의 특정 요구 사항에 기초하여 및/또는 피검자(101)의 해부학적 특성에 기초하여 확립될 수 있는 k-공간 궤적에 대하여 정의될 수 있다.

[0047] 길이 방향의 자화의 정렬 또는 기본 자계를 유발하는 편광의 여기를 위해, 피검자(101)에 진폭-변조된 RF 여기 펄스를 방사할 수 있는 RF 코일 장치(121)가 제공된다. 이에 의해 가로 자화가 발생할 수 있다. 이러한 RF 여기 펄스를 생성하기 위하여, RF 송신 유닛(131)은 RF 스위치(130)를 통해 RF 코일 장치(121)와 접속된다. RF

송신 유닛(131)은 RF 생성기 및 RF 진폭 변조 유닛을 포함할 수 있다. RF 여기 펄스는 1d에서 슬라이스 선택적으로 또는 2D/3D에서 공간 선택적으로 또는 전역적으로 안정 상태(steady state) 밖에서 가로 자화를 플립(flip)할 수 있다.

[0048] 또한, RF 수신 유닛(132)은 RF 스위치(130)를 통해 RF 코일 장치(121)에 결합된다. 이완 가로 자화의 MR 신호는 원 데이터로서 RF 수신 유닛(132)을 통해, 예를 들어, RF 코일 장치(121)로의 유도 주입(inductive injection)을 통해 획득될 수 있다.

[0049] 일반적으로, RF 송신 유닛(131)에 의한 RF 여기 펄스의 방사 및 RF 수신 유닛(132)에 의한 MR 데이터의 획득을 위해 개별 RF 코일 장치(121)를 이용할 수 있다. 예를 들어, 볼륨 코일(121)은 RF 펄스의 방사에 사용될 수 있고 RF 코일의 어레이를 포함하는 표면 코일(미도시)은 MR 데이터의 획득에 사용될 수 있다. 예를 들어, MR 데이터의 획득을 위한 표면 코일은 32개의 개별 RF 코일을 포함할 수 있고, 따라서, 특히 부분 병렬 촬영(ppa 촬영, 부분 병렬 획득)에 적합할 수 있다. 해당 기술은 당업자에게 공지되어 있기 때문에 추가의 세부사항은 설명하지 않는다.

[0050] 또한, MR 시스템(100)은 예컨대 모니터, 키보드, 마우스 등을 포함할 수 있는 조작 유닛(150)도 포함한다. 조작 유닛(150)에 의해 사용자의 입력이 검출될 수 있고 사용자에게 대한 출력이 구현될 수 있다. 예컨대 조작 유닛(150)에 의해 MR 시스템의 개별 작동 모드 또는 작동 매개변수가 사용자에게 의해 그리고/또는 자동으로 그리고/또는 원격 제어로 설정될 수 있다. MR 시스템(100)은 또한 컴퓨터(160)를 갖는다. 예를 들어, 컴퓨터(160)는 멀티 에코 측정 시퀀스의 범위 내에서 MR 데이터의 획득을 제어하기 위하여 셋업될 수 있다.

[0051] 상이한 실시예에 따른 멀티 에코 측정 시퀀스의 시퀀스 방식은 도 2에 도시된다. 무선 주파수(300)가 도 2의 위에 도시된다. RF 펄스(401-1)의 방사가 초기에 발생한다. 명료화를 위해, 슬라이스 선택 그래디언트 펄드의 인가는 도 2에 도시되지 않는다. RF 펄스(401-1)는 가로 자화를 여기한다(RF 여기 펄스), 즉, 안정 상태 밖에서 적어도 부분적으로 길이 자화를 편향한다.

[0052] 위상 코딩 방향(302)을 따라 위상 코딩 그래디언트 펄드(402)가 후속으로 인가된다. 도 2에서, k-공간 라인은 2번 스캔된다(더블 에코 그래디언트 에코 시퀀스). 이를 위해, 프리페이징 그래디언트 펄스(403-1)는 초기에 판독 방향(303)을 따라 스위칭된다. 프리페이징 그래디언트(403-1)(판독 프리페이징 그래디언트)의 목적은 제1 그래디언트 에코의 원하는 제1 에코 시점(501)(제1 에코 시간(TE1)(511)에 대응)(이것은 그래디언트 펄스(403-1, 403-2) 하의 동일한 사이즈의 대쉬 영역에 의해 도 2에 도시됨)에서 판독 그래디언트(403-2)의 결과로서 스핀이 획득한 위상에 대해 가능한 한 정밀하게 보상하는 것이다. 제1 판독 그래디언트 펄스(403-2)는 후속으로 가로 자화의 주파수 코딩을 위해 스위칭된다. 제2 판독 그래디언트 펄스(404-2)는 (제2 에코 시간(TE2)(512)에 대응하는) 제2 에코 시점(502)에서 제2 그래디언트 에코를 형성한다. 양 판독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2)는 도시된 예에서 동일한 극성(단극성 판독 방식)을 가지므로, 플라이백 그래디언트 펄스(404-1)가 판독 그래디언트(403-2, 404-2) 사이에서 스위칭되고, 제1 판독 그래디언트(403-2)의 결과로서 제1 에코 시간(TE1) 후 및 제2 판독 그래디언트(404-2)의 결과로서 제2 에코 시간(TE2) 전에 스핀이 획득한 위상을 보상하도록 플라이백 그래디언트 펄스(404-1)의 모멘트가 선택된다.

[0053] 그래디언트 에코는 다음과 같이 전체 축적된 0번째 그래디언트 모멘트에 대하여 적용되는 시간(t)에서 항상 형성된다.

$$m_i(t) = \int_{t_0}^t G_i(\tilde{t}) d\tilde{t} = 0; i = R, S,$$

[0054] 여기서, R 및 S는 판독 방향(303) 및 슬라이스 선택 방향(301)을 각각 나타낸다. 적분의 시작( $t_0$ )은 대칭 싱크(sinc) 형상 RF 펄스가 주어지면 RF 펄스(401)의 시간적 중간과 근접하여 일치하는 RF 펄스(401)의 아이소딜레이(isodelay) 시점으로서 알려진 것이다.

[0056] 2개의 에코 시점(501, 502) 간의 시간차( $\Delta TE$ )(515)는 해상도를 제한한다. 램프 샘플링(ramp sampling) 없이, 해상도는 판독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2)의 플랫폼(flattop) 하의 영역에 의해 제공된다. 이 영역은 플랫폼 시간(602)(판독 간격) 및 진폭(603)에 의해 제공된다. 램프 시간(601)은 최대 그래디언트 펄스 변화율에 의해 아래로 제한된다.

- [0057] 도 2의 예에서, 제1 콘트라스트의 에코 시간( $TE_1$ )은 2개의 에코 시간( $TE_2$  및  $TE_1$ ) 간의 시간차( $\Delta TE=TE_2-TE_1$ )와 동일하다. 예를 들어, 이것은 예를 들어 상술한 2-포인트 디슨(Dixon) 기술 및 주어진 반대 위상/동위상 촬영이 주어진 경우이다.
- [0058] 관독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2)는 사다리꼴이다. 도 2로부터, 램프 시간(601)은 최대 그래디언트 펄스 변화율(651)의 고려 하에서 최소이도록 선택되는 것을 알 수 있다. 또한, 도 2로부터 진폭(603)은 최대 그래디언트 펄스 진폭(653)보다 작도록 선택되는 것을 알 수 있다. 이것은 최대 해상도가 반드시 최대 진폭(603)에서 달성되는 것은 아니라는 인식에 기초한 것이다. 이것은 유한 최대 그래디언트 펄스 변화율(651) 때문에 진폭(603)에 도달하기 위한 유한 시간이 또한 적용되기 때문에 그러하다.
- [0059] 또한, 도 2로부터, 플라이백 그래디언트 펄스(404-1)는 삼각형인 것을 알 수 있고, 이것은 플랫폼 시간이 제로와 동일하게 선택되는 것을 의미한다. 램프 시간(611)은 최대 그래디언트 펄스 변화율(651)의 고려 하에서 가능한 한 짧도록 선택된다. 플라이백 그래디언트 펄스(404-1)의 플라이백 진폭(613)은 또한 최대 그래디언트 펄스 진폭(653)보다 작도록 선택된다.
- [0060] 관독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2) 또는 플라이백 그래디언트 펄스(404-1)의 그래디언트 펄스 파라미터의 구체적인 선택은 한편으로는 최대 그래디언트 펄스 변화율(651)( $S_{max}$ )에 대한, 다른 한편으로는 시간차(515)( $\Delta TE$ )에 대한 미리정해진 최대 그래디언트 펄스 진폭(653)( $G_{max}$ )의 몫 간의 비율에 따라 발생한다. 이들 3개의 요법은 예를 들어 멀티 에코 측정 시퀀스의 상이한 파라미터에 따라 정의될 수 있다(도 3 참조). 그래디언트 펄스 파라미터는 구체적인 멀티 에코 측정 시퀀스가 어떤 요법에서 셋업되느냐에 따라 다르게 선택될 수 있다.
- [0061] 이것은 도 2의 실시예의 멀티 에코 측정 시퀀스에 대하여 다음에서 설명한다. 최대 그래디언트 펄스 파라미터(651, 653)의 경계 조건 뿐만 아니라 시간차(515)( $\Delta TE$ )의 고려하에서 관독 방향으로 해상도를 최대화하는 그래디언트 형상이 얻어진다. 플랫폼 시간 동안 관독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2)의 0번째 모멘트 또는 관독 간격(602)은  $k$ -공간에서 횡단하는 경로에 정비례한다. 램프 샘플링없이 및 정의된 대칭 하에서(가장 짧은 가능한 램프 시간(601), 에코 시점(501, 502)에서의 관독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2)의 대칭 뿐만 아니라 관독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2)의 동일한 진폭(603)), 최대 해상도는 관독 그래디언트 펄스(403-1, 404-2)의 플랫폼 하의 영역을 최대화하는 그래디언트 형상으로 달성된다. 미리정해진 시간차(515)( $\Delta TE$ ) 및 유한 램프 시간(601) 때문에, 최대 영역이 반드시 최대 진폭(603)에서 달성되는 것은 아니다.
- [0062] 다음의 결과는 관독 그래디언트 펄스(403-1, 404-2)의 플랫폼 하에서 최대 영역을 공급하는 산출(예를 들어, 상이한 파라미터 및 후속의 극값 탐색에 의존하여 함수로서 영역을 공식화함으로써)에 의해 달성된다.  $(2/9)\Delta TE \leq (G_{max}/S_{max})$ 에 의해 제공되는 제1 요법에 대하여(도 3 참조), 최대 해상도는  $(1/9)S_{max}\Delta TE$ 로서 선택된 진폭(603)( $G$ )으로 달성된다. 관독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2)의 램프 시간(601)( $RT$ )은  $RT=(1/9)\Delta TE$ 으로 설정되고, 플랫폼 시간(602)( $FT$ )은  $FT=(3/9)\Delta TE$ 가 되도록 선택된다. 플라이백 그래디언트 펄스(404-1)는 램프 시간(611)( $RT_{FB}=(2/9)\Delta TE$ ) 및 진폭(613)( $G_{FB}=-2G=-(2/9)S_{max}\Delta TE$ )을 갖는 삼각형이다. 도 4에서 최상 라인 참조한다.
- [0063]  $(1/12)\Delta TE \leq (G_{max}/S_{max}) < (2/9)\Delta TE$ 에 의해 제공되는 제2 요법에 대하여(도 3 참조), 최대 해상도는  $G_{max}/2$ 와  $G_{max}$  사이에 있는 진폭(603)( $G$ )으로 달성된다. 진폭(603)( $G$ )의 정확한 값은  $0 < x < 1$ 의 범위 내에서  $(x+2)(x+3)^2=4(S_{max}\Delta TE)/G_{max}$ 을 풀므로써 달성된다. 3차 방정식의 유일 해(unique solution)는 예를 들어 해를 수치적으로 또는 그래프적으로 찾을 수 있는 이 범위 내에 존재한다. 찾은 진폭(603)( $G$ )은  $G=(G_{max}/2)(x+1)$ 을 갖는  $x$ 로부터 얻어지고, 이로부터 찾은 램프 시간(601)( $RT=G/S_{max}$ )이 얻어진다. 관독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2)의 플랫폼 시간(602)( $FT$ )은 이전에 산출된 값을 다음의 공식에 삽입함으로써 얻어진다.
- [0064]  $FT=(G_{max}\Delta TE)/(G+G_{max})-(G+G_{max})/S_{max}$
- [0065] 이 요법에서, 플라이백 그래디언트 펄스(404-1)는 최대 플라이백 진폭(613)( $G_{FB}=-G_{max}$ ) 및 최소 램프 시간(611)( $RT_{FB}=G_{max}/S_{max}$ )을 갖는 사다리꼴이다. 플라이백 그래디언트 펄스(404-1)의 플랫폼 시간( $FT_{FB}$ )은
- [0066]  $FT_{FB}=(G\Delta TE)/(G+G_{max})-3(G+G_{max})/S_{max}$
- [0067] 로서 이전에 산출된 진폭(603)( $G$ )의 도움으로 얻어진다.
- [0068] 도 4의 중간 라인을 참조한다.

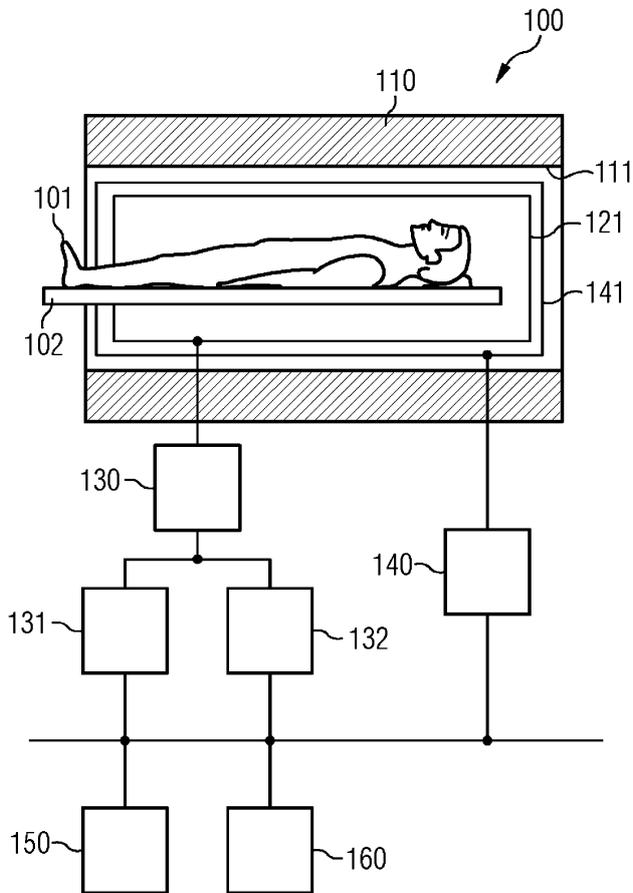
- [0069] (1/12)  $\Delta TE \geq (G_{max}/S_{max})$ 에 의해 제공되는 제3 요법(도 3 참조)에 대한 최대 진폭(603)으로 최대 해상도가 달성된다. 플라이백 그래디언트 펄스(404-1)는 최대 플라이백 진폭(613)을 갖는 사다리꼴이다. 문제의 대칭 때문에, 해석적인 해는 이 범위 내에서 특정될 수 있다:
- [0070]  $G=G_{max}$ ;  $G_{FB}=-G_{max}$ ;  $RT=RT_{FB}=G_{max}/S_{max}$ ;
- [0071]  $FT=FT_{FB}=\Delta TE/2-2G_{max}/S_{max}$
- [0072] 이 예에서 제1 에코 포인트(501)에서 제1 그래디언트 에코가 제1 판독 그래디언트 펄스(403-2)의 플랫폼 시간(602)의 중간에 집중해야하기 때문에, 프리페이징 그래디언트 펄스(403-1)의 0번째 모멘트는 제1 판독 그래디언트 펄스(403-2)의 0번째 모멘트의 절반과 동일하도록 선택된다(도 2의 대쉬 영역 참조).
- [0073] 제1 요법 즉, (2/9)  $\Delta TE \leq (G_{max}/S_{max})$ 에서, 프리페이징 그래디언트 펄스(403-1)의 0번째 모멘트는 예를 들어  $A_{GRP}=G*(FT+RT)/2=(2/81)S_{max} \Delta TE^2$ 이다. 제1 요법에서 가장 효과적인 것은 램프 시간( $RT_{GRP}=(A_{GRP}/S_{max})^{1/2}=(\sqrt{2/9})\Delta TE$ ) 및 최대 진폭( $G_{GRP}=(\sqrt{2/9})S_{max} \Delta TE$ )을 갖는 삼각형 프리페이징 그래디언트 펄스(403-1)이다. 프리페이징 그래디언트 펄스(403-1)는, RF 펄스(401)의 끝과, 이 예에서 제1 판독 그래디언트 펄스(403-2)의 플랫폼의 시작과 일치하는 제1 판독 간격의 시작 사이에서 스위칭될 수 있다. 따라서, 이용가능한 시간은  $TE_1-TS(3/18)\Delta TE$  이고, 여기서, TS는 RF 펄스(401)의 아이소토피리 포인트와 RF 펄스(401)의 끝 사이의 시간이다. 예에서, RF 펄스(401)의 끝은 슬라이스 선택 그래디언트(402)의 플랫폼의 끝과 일치해야 한다. 이 시간(TS)은 제1 에코 시간(511)(TE1)에 비하여 통상 짧다. 다양한 참조 구현예에서, 이는 예를 들어, 40  $\mu s$ 와 80  $\mu s$  사이이다. 따라서, 프리페이징에 이용가능한 시간( $T_{available}=TE_1-TS-(3/18)\Delta TE \geq 1.15ms-0.08ms-(3/18)1.15ms \sim 0.89ms$ )은 프리페이징에 필요한 시간( $T_{needed}=(\sqrt{2/9})\Delta TE=(\sqrt{2/9})1.15ms \sim 0.18ms$ )에 비하여 크다. 동일한 것이 다른 요법에 적용된다(도 4 참조).
- [0074] 슬라이스 리페이징(rephasing) 그래디언트 펄스(도 2에 도시되지 않음) 및 위상 코딩 표(도 2의 위상 코딩 그래디언트 펄스(402))는 또한 RF 펄스(401)의 끝과 제1 판독 간격(602)의 시작 사이의 시간 간격에서 스위칭된다. 이에 의해, 이들 3개의 그래디언트는 시간적으로 병렬로 스위칭될 수 있다. 데카르트(Cartesian) 촬영에서, 위상 코딩 방향의 해상도는 일반적으로 판독 방향의 해상도보다 작거나 같다. 대략적으로 이차 이미지 필드(시야)가 주어지면, 위상 코딩 그래디언트( $A_{PE,max}=\Pi(N_{PE}-1)/(\gamma FoV_{PE})$ )의 최대 0번째 모멘트의 절대값은 통상 프리페이징 그래디언트 펄스(403-1)( $A_{GRP} \sim A_{GR0}/2=0.5*(2\Pi N_{RO}/(\gamma FoV_{RO}))$ )의 최대 모멘트의 절대값을 초과하지 않는다 (또는 크게 초과하지 않는다).  $N_{PE}$ 는 위상 코딩 단계의 수이고,  $N_{RO}$ 는 판독 방향의 스캔 포인트의 수이고,  $FoV_{PE}$ 는 위상 코딩 방향의 시야이고,  $FoV_{RO}$ 는 판독 방향의 시야이고,  $\gamma/(2\Pi)$ 는 자기 회전 비율이다. 결과적으로 위상 코딩 표에 필요한 시간은 판독 프리페이징에 필요한 시간을 초과하지 않는다. 예에서, RF 펄스(401)의 끝과 제1 판독 간격(602)의 시작 사이에서 이용가능한 시간은 효율적으로 이용될 수 없다. 이것은 또한 비교가능한 미리정해진 에코 시간 때문에 멀티 에코 시퀀스의 실제적으로 관련된 다른 적용예에 마찬가지로 적용된다. 따라서, 판독 방향(303)의 해상도는 제1 및 제2 에코 시간(511, 512)(TE1, TE2) 간의 시간차(515)( $\Delta TE$ )에 의해 제한되고 통상 제1 에코 시간(511)(TE1)에 의해 제한되지 않는다.
- [0075] 멀티 에코 측정 시퀀스를 구현하는 방법의 플로우차트가 도 5에 도시된다. 방법은 단계(S1)에서 시작한다. 단계(S2)에서, 한편으로는 시간차(515)와 다른 한편으로는 최대 그래디언트 펄스 진폭(653)과 그래디언트 펄스 변화율(651)의 몫 간의 비율이 초기에 결정된다. 그 후, 단계(S3)에서 판독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2)의 파라미터가 이 비율에 따라 선택된다. 플라이백 그래디언트 펄스(404-1)의 파라미터는 마음대로 선택된다. 예를 들어, 이를 위해, 요법이 분류될 수 있다(도 3 참조). 단계(S4)에서 판독 그래디언트 펄스(403-2, 404-2)가 인가된다. 단계(S5)에서 방법이 종료한다.
- [0076] 상술한 본 발명의 실시예 및 형태의 특징은 서로 결합될 수 있다. 특히, 특징은 기재된 조합 내에서만 사용되지 않고 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 다른 조합 또는 개별적으로 사용될 수 있다.
- [0077] 예를 들어, 엔지니어링 또는 제한된 범위 때문에, 예를 들어, 그래디언트 펄스 진폭 또는 상승 시간 등의 상이한 값을 임의로 선택할 수 없다. 오히려, 예를 들어 아날로그/디지털 변환 또는 다른 기술적 제한 때문에, 정의된 이산(discretization) 또는 그리딩(griding)을 고려할 필요가 있다. 그러므로, 실제 값은 이러한 허용 범위 내에서 상술한 값 주변에서 변동할 수 있다. 즉, 실제 시스템에서, 상이한 값이 실현될 수 있는 해상도는 특정 변동이 내재적으로 존재할 수 있도록 제한될 수 있다.

부호의 설명

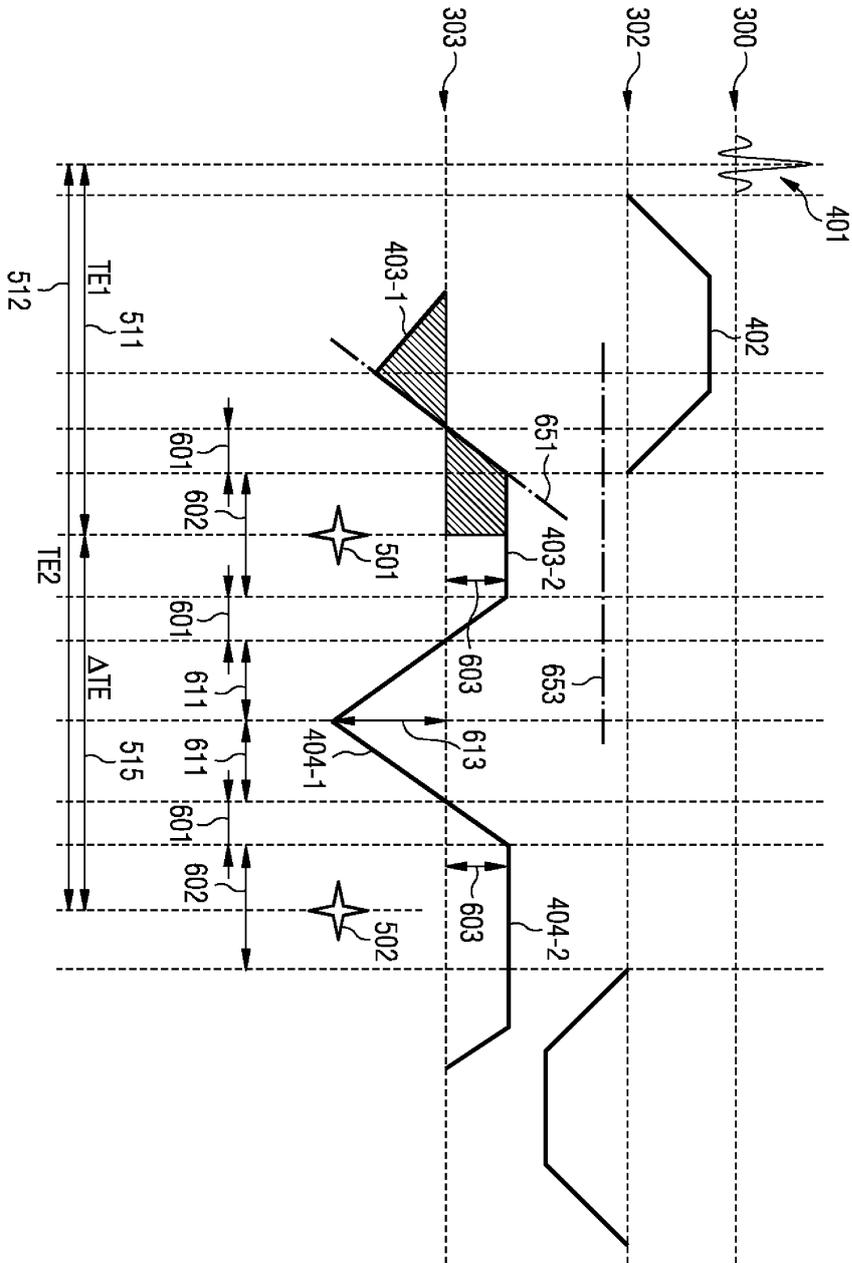
- [0078] 100: MR 시스템
- 110: 자석
- 111: 튜브
- 121: 그라디언트 시스템
- 141: 그라디언트 코일

도면

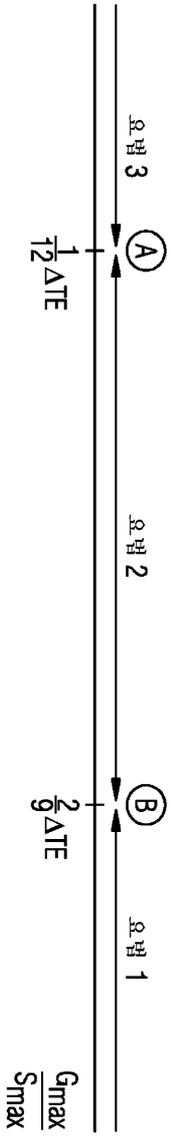
도면1



도면2



도면3



	603	601	602	613	611	613
	↙	↙	↙	↙	↙	↙
	G	RT	FT	G <sub>FB</sub>	RT <sub>FB</sub>	FT <sub>FB</sub>
요번 1	$G = \frac{1}{9} S_{\max} \Delta TE$	$\frac{G}{S_{\max}} = \frac{1}{9} \Delta TE$	$\frac{3}{9} \Delta TE$	$-\frac{2}{9} S_{\max} \Delta TE$	$\frac{G_{FB}}{S_{\max}} = \frac{2}{9} \Delta TE$	0
요번 2	$G = \frac{G_{\max}}{2} (x+1)$ wo x lost: $(x+2)(x+3)^2 = \frac{4 S_{\max} \Delta TE}{G_{\max}}$	$\frac{G}{S_{\max}} = \frac{G_{\max}}{2 S_{\max}} (x+1)$	$\frac{G_{\max} \Delta TE}{G + G_{\max}} - \frac{G + G_{\max}}{S_{\max}}$	-G <sub>max</sub>	$\frac{G_{\max}}{S_{\max}}$	$\frac{G_{\max} \Delta TE}{G + G_{\max}} - \frac{3}{S_{\max}} \frac{G + G_{\max}}{S_{\max}}$
요번 3	$\frac{1}{9} \Delta TE < \frac{G_{\max}}{S_{\max}} < \frac{2}{9} \Delta TE$	$\frac{G_{\max}}{S_{\max}}$	$\frac{\Delta TE}{2} - \frac{2 G_{\max}}{S_{\max}}$	-G <sub>max</sub>	$\frac{G_{\max}}{S_{\max}}$	$\frac{\Delta TE}{2} - \frac{2 G_{\max}}{S_{\max}}$
	$\frac{1}{12} \Delta TE < \frac{G_{\max}}{S_{\max}} < \frac{2}{9} \Delta TE$					
	$\frac{1}{12} \Delta TE \geq \frac{G_{\max}}{S_{\max}}$					

도면4

도면5

