

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-184979

(P2017-184979A)

(43) 公開日 平成29年10月12日(2017.10.12)

(51) Int.Cl.
A61N 2/04 (2006.01)F1
A61N 2/04テーマコード (参考)
4C106

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2016-75509 (P2016-75509)
(22) 出願日 平成28年4月5日 (2016.4.5)(71) 出願人 507076126
株式会社 I F G
宮城県仙台市青葉区折立一丁目14番9号
(72) 発明者 阿部 利彦
宮城県仙台市青葉区折立1-14-9 株式会社 I F G 内
(72) 発明者 八島 芳信
宮城県仙台市青葉区折立1-15-10 日本素材株式会内
(72) 発明者 森 仁
宮城県仙台市青葉区折立1-14-9 株式会社 I F G 内
(72) 発明者 八島 建樹
宮城県仙台市青葉区折立1-14-9 株式会社 I F G 内

最終頁に続く

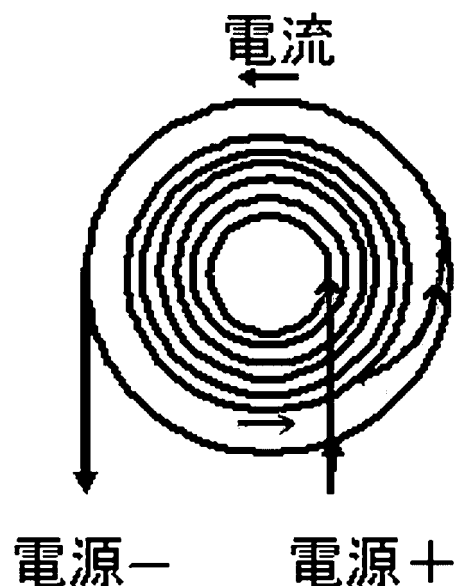
(54) 【発明の名称】 静音磁気刺激コイル

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】パルス磁気刺激において、電磁力によってコイルが発するパルス音の強度を抑制することにより、静かな環境での診断・治療に役立てる。

【解決手段】パルス電流の電磁力により多層巻き磁気刺激コイルに生じる振動が抑制される「反共振」を起こす多層構造の巻き方とする。具体的には、多層巻きのパルス磁気刺激用コイルの、最外縁のコイル巻き線の間隔を変えてパルス音の位相差を生じる方法と、順巻と逆巻キコイルを2段に重ねて、両コイルを逆相接続する方法による。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

パルス磁気刺激で用いられる磁気刺激コイルであって、磁気パルス発生時に生じるパルス音の基本周波数と、磁気コイルの構造振動特性における反共振周波数とをマッチングさせることにより、パルス音の音量を抑制することを特徴とする磁気刺激コイル。

【請求項 2】

スパイラルコイル構造の磁気刺激コイルであって、その巻線間隔を調整することにより、磁気コイルの構造振動特性における反共振周波数をパルス音の基本周波数とマッチングして、パルス音の音量を抑制することを特徴とする請求項 2 記載の磁気刺激コイル。

【請求項 3】

お互いに巻方向が逆向きとなっている 2 つのスパイラルコイルを重ねあわせ、それぞれのコイルの内側端部と内側端部、または外側端部と外側端部を電氣的に直列接続し、各コイルより発生する振動の位相が半波長程度ずれる構造とすることにより、振動音を低減することを特徴とする請求項 1 記載の磁気刺激コイル。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、パルス磁気刺激用コイルの動作時に生じるパルス音を抑制する技術に関する。

【背景技術】**【0002】**

パルス磁気刺激法によれば、電気刺激のような痛みを伴うことなく、神経を刺激することができる。また、電気刺激は皮膚直下を電流が流れるのに対して、パルス磁気によれば生体深部を非侵襲的に刺激することが可能である。このためにパルス磁気刺激法は経頭蓋磁気刺激法（TMS）として脳神経の刺激に広く使われている（非特許文献 1 参照）。さらに、パルス磁気刺激によれば、麻痺した上肢や下肢に対して、大きな筋収縮を誘発できるので、本出願の発明者らは、パルス磁気刺激による新しいリハビリテーション装置を開発した（特許文献 1 参照）。また、リハビリテーションの効果を高めるために、筋肉の自発運動に連動して磁気刺激を行う方法として、運動機能改善を目的とする部位に、筋電位計の電極を取り付け、運動によって生じる筋電位をトリガ信号として用いる方法を開発した（特許文献 2 参照）。さらに、パルス磁気刺激法は、腹圧性尿失禁を治療する方法として実用化されている（特許文献 3 参照）。

【0003】

パルス磁気刺激法は、大容量のコンデンサに充電した電荷を、瞬時に磁気刺激コイルに放電することによって、1 ミリ秒以下の短時間に強いパルス磁界を発生し、磁界が生体に誘起する電流で神経を刺激する。パルス電流がコイルに流れて強い磁界が発生すると、コイル電流と磁界に直行する方向に強い電磁力が発生して、コイルは機械振動を起こす。この振動に伴ってパルス音が発生する。診察室や病室のような静かな環境下で用いる場合は、診断・治療装置の騒音は少ないことが望ましい。

【0004】

神経を刺激する方法としてパルス磁気刺激法より以前から使用されている「電気刺激法（低周波治療法）」は、刺激時に騒音を発生することはないが、電極を定位置に貼る必要があり、刺激時にかなりの疼痛を伴う。リハビリテーションのために、麻痺した四肢に大きな筋収縮を電気刺激法で誘発するには数十 mA 以上の電流を流すことが必要であって、非常に大きな疼痛を伴うという、大きな使用上の問題がある。このために電気刺激用の電流波形を制御して疼痛を減らす工夫が行われている。（特許文献 4 参照）

【先行技術文献】**【非特許文献】****【0005】**

【非特許文献 1】医歯薬出版（株）「磁気刺激法の基礎と応用」、出江著、脳血管障害、P. 198

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2015-107176

【特許文献2】特開2013-103121

【特許文献3】特開平9-276418

【特許文献4】特開2008-36448

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

磁気刺激によって大きな筋収縮を生じるためには、磁束密度が0.5 T（テスラ）以上でパルス巾が0.1ミリ秒以上の強いパルス磁界が必要である。機械的振動の制御が容易な単巻きコイルは発生磁場が弱いので、強い磁界を発生するために巨大な電源を必要とする。磁場強度を増すためには、コイル巻き数を増す、具体的にはスパイラル状に10回以上巻くことが不可欠である。しかし、スパイラル状コイルにパルス電流の電磁力が作用すると、隣り合う導体間に斥力が働き振動が大きくなるため、パルス音が大きくなる。

10

【0008】

スパイラル状コイルの機械的な振動は、コイル全体を厚い樹脂でコーティングすることによって効果的に抑制することが可能である。樹脂コーティングは、振動の低減と、電気絶縁性の向上という好ましい効果の反面、熱の放散を妨害してコイルの温度上昇を促進する好ましくない効果がある。実際のパルス磁気刺激では、1000 A以上の大きなパルス電流をコイルに流すため、コイル材質（通常は銅）の抵抗発熱によって、コイルの温度が上昇し、使用可能時間が短いことが大きな問題となっている。パルス磁気刺激治療の効果は、加える磁気パルス数が多いほど向上し、診察・治療時間も短縮される長所があるが、コイル温度が45℃以上になると火傷の危険があるので、発射できる磁気パルスと使用可能な時間はコイルの温度上昇によって制約されているのが現状である。温度上昇の面から、コイルの樹脂コーティングは問題が多い方法である。

20

【0009】

温度上昇を避けるために、少ないコイル電流で強いパルス磁界を発生させる方法として、鉄心入りの「コア付コイル」の使用が考えられる。しかしながら、使用可能なコア材質は、飽和磁化値の制約によって圧延ケイ素鋼板に限定されている。ケイ素鋼板は渦電流を少なくするために積層して使用する必要があるが、積層材はパルス磁界によって衝撃音を発することと、ケイ素鋼板は渦電流及びヒステリシス損失によって、発熱する問題がある。

30

【0010】

以上のように、パルス磁気刺激法によって大きな筋収縮を誘発するリハビリテーション法は、電気刺激法よりも疼痛がはるかに少なく、生体深部まで刺激できる利点がある一方、装置使用時に電磁力に伴って発生するパルス音が問題となる。厚い樹脂コーティングによる防振法や、コア入りコイルの使用によるパルス電流低減も上述のように、コイル発熱が増す問題がある。一般的な機械振動の抑制法としては、（1）材料自体の減衰能を高める方法、（2）高粘性高分子などを塗布する方法、（3）振動体の重量を増す方法などが多く用いられるが、これらの方法を磁気刺激コイルに適用することはできない。

40

【課題を解決するための手段】

【0011】

以上の問題を解決するために、電磁力によって多層巻きコイルに生じる機械振動特性に着目し、コイルの巻き線間隔、巻き線方向と振動発生機構を鋭意研究した結果、本発明を成すに至った。本発明の構成を以下に示す。

【0012】

エンジンの振動や騒音のように、それらの発生機構が明確な場合は、回転バルンサーやマフラーのように反共振を有効に活用することで、振動・騒音を抑制できる。本発明は磁気刺激コイルのパルス音を低減するために、コイル巻き線間の反共振を的確に制御することが低音響磁気刺激コイルに有効であることを見出してこれを請求項1とした。スパイラル

50

状の多層巻きパルス磁気刺激用コイルは図 1 に示すように、コイルの一端からパルス電流が流入して、コイルの他端から流出する。図 1 の矢印の方向に従って電流が流れると、「電流の右ねじの法則」に従った方向のパルス磁場が発生する。図 1 の場合は、左回りの電流が最内層のコイルから流れ始めて、短時間の間に外層のコイルに流入し、最外層のコイルから電流は流出する。この間にコイル巻き線の間には電磁力（ローレンツ力）が作用するので、コイル巻き線は機械振動を起こしてパルス音を発する。このパルス音は、主に磁気パルスのパルス幅で決まる一定の基本周波数を持つ。一方コイル材質と形状が一定であれば、コイル全体はその構造より決定される構造振動特性を持ち、その周波数スペクトルは一定の共振周波数と反共振周波数にピークを持つ。このパルス音の持つ基本周波数とコイル全体の構造振動特性にける反共振周波数を重ね合わせるにより、磁気刺激コイルのパルス音の音量を抑制できる。

10

【 0 0 1 3 】

振動モードがきわめて複雑である磁気刺激コイルが発するパルス音を反共振によって抑制するために、スパイラル状の「コイルを巻く間隔」を調整することが、振動音を低減するために有効なことを見出し、この方法を請求項 2 とした。スパイラルコイル全体の巻き線間隔を厳密に制御すればコイル各部の振動特性も制御可能であって、コイルのすべての部位において共振を抑えることは理論的に可能である。しかし、弾性のあるコイルの巻き線間隔を、想定通りに固定することは相当な困難を伴う。簡易的には、スパイラルコイルの最外側の巻き線を、図 2 に示すように、内側の巻き線から一定距離だけ離して巻くだけでも、パルス音の音量抑制に一定の効果が認められる。離す距離については、実際に音量を測定しながら、もっとも音量抑制効果の高い距離に調整を行う。

20

【 0 0 1 4 】

コイルの巻き線間の電磁力を抑制するために、逆方向に巻いたスパイラルコイルを 2 段に重ねて、各コイルに逆向きにパルス電流を流すことにより、振動音を低減する方法を請求項 3 とした。上下 2 段に重ねるコイルの、上段を右側に、下段を左側に移動した場合の構造を図 4 に示す。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 5 】

本発明によれば、パルス磁気刺激法を用いる際に発生するパルス音の音量を抑制した、静かな環境で診断・治療を行うことが可能になる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 6 】

【 図 1 】スパイラル状の多層巻きパルス磁気刺激用コイルを示す図

【 図 2 】最外縁のコイル巻き線の間隔を変えた低音響磁気刺激コイルを示す図

【 図 3 】2 段重ねスパイラルコイルの各段を水平方向に並べ変えた図

【 図 4 】最外縁のコイル巻き線の間隔によるパルス音波形の違いを示す図。（ 1 ）間隔 0 mm、（ 2 ）間隔 15 . 5 mm

【 図 5 】最外縁のコイル巻き線の間隔とパルス音の音量の関係を示す図。

【 図 6 】2 段重ねコイルと 1 段コイルのパルス音の音量を各 10 回測定した図。

【 発明を実施するための形態 】

40

【 0 0 1 7 】

次に本願発明の詳細を実施例に基づいて説明する。なおこの実施例は当業者の理解を容易にするためのものである。すなわち、本願発明は明細書の全体に記載される技術思想によってのみ限定されるものであり、本実施例によってのみ限定されるものではない。

【 実施例 1 】

【 0 0 1 8 】

内径 3 cm、外径 8 ~ 9 . 7 cm、10 回巻きスパイラルコイルに、電圧 600 V、パルス巾 0 . 2 ms のバイフェーズパルス電流を加えた場合に発生するパルス音響スペクトルを図 4（ 1 ）、（ 2 ）に示した。図 4（ 1 ）は図 1 に示す等間隔スパイラルコイルのパルス音の周波数成分スペクトルであり、図 4（ 2 ）は最外周を 15 . 5 mm 離して図 2 のよ

50

うに巻いた場合のパルス音の周波数成分スペクトルである。パルス音はコイルから 30 cm の距離で測定した。この距離では電磁ノイズのために騒音計は使えなかったので、コンデンサマイクの出力波形を示す。

【0019】

パルス巾 0.2 ms のパルス電流によって図 4 (1) のように、約 1 ms の間、5 kHz 程度の強いパルス音が発生し、その後 4 ms ほどの間音波形が継続している。本発明の方法による図 4 (2) の静音磁気刺激コイルでは、最初の強いパルス音も、引き続くパルス音もピーク高さはほぼ半減しており、パルス音の低減効果が認められる。最外縁コイルと内側のコイルの間隔を変えて、測定時間 3 ms の平均音量を測定した結果を図 5 に示す。間隔が 7 mm までは効果が見られないが、間隔が 13 ~ 16 mm では平均音量が 60 % まで低減している。

10

【実施例 2】

【0020】

図 3 に示す構造の逆巻きコイルを 2 段に重ねて、逆方向のパルス電流を流すことで、上下コイルの振動の位相を半波長ずらし、振動を打ち消すことでパルス磁気刺激コイルのパルス音音量を低減できる。実施例 1 に示した図 2 の構造の静音磁気刺激コイルは、厚さは薄い、直径は大きくなる。磁気刺激をする目的部位によっては小型のコイルが望ましい場合がある。このような目的には 2 段型の静音磁気刺激コイルが適している。図 3 に示すように、この方法では上コイル (図 3 (1)) の振動はコイル外周から始まり、下コイル (図 3 (2)) の振動は内周から始まる。上コイルと下コイルの形状が同じ場合は、両コイルの振動の位相が逆になるので、振動が打ち消し合ってパルス音は低減する。図 6 は一段のみのコイル (図の右側) と、逆巻きコイルを 2 段に重ねて、パルス電流を逆方向に流した場合 (図の左側) のパルス音音量を 10 回ずつ測定した結果である。2 段コイルのパルス音音量は 45 % まで低下しており、本方法の有効性が示されている。

20

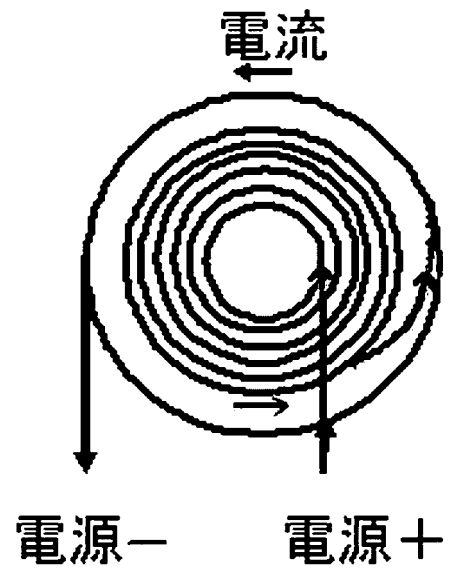
【符号の説明】

【0021】

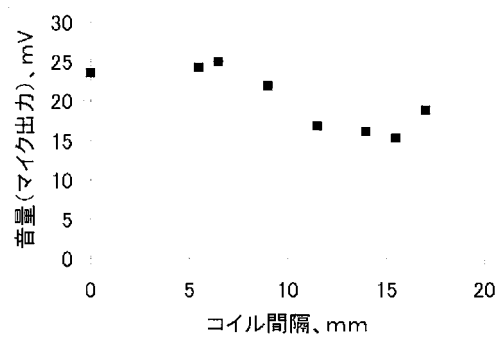
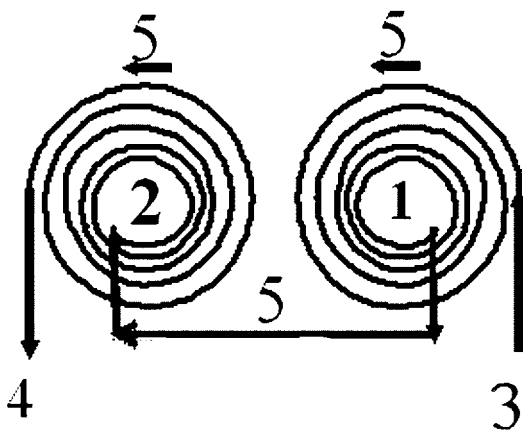
- 1 上のコイル
- 2 下のコイル
- 3 パルス電源 (+) へ
- 4 パルス電源 (-) へ
- 5 電流の向き

30

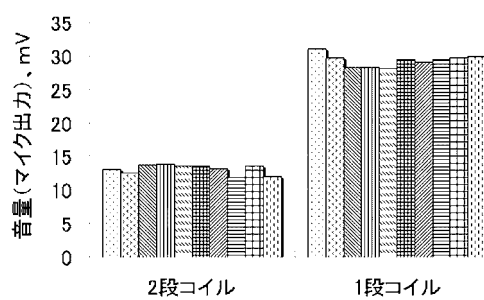
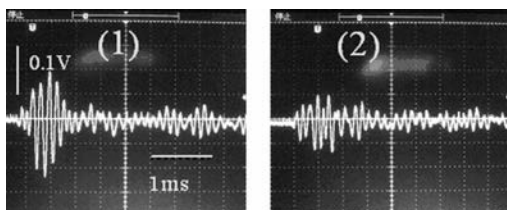
【 図 2 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 森 和美

宮城県仙台市青葉区折立 1 - 1 4 - 9 株式会社 I F G 内

F ターム(参考) 4C106 AA06 FF20