

特別講演

常電動リニアモーターカーが植え込み型不整脈治療機器に与える影響

愛知医科大学循環器内科

水谷 登

3月6日愛知県支部勉強会でのご講演要旨を水谷先生にご監修頂きました。2005年3月25日～9月25日“自然の叡智”をテーマに開催される“愛知万博”での会場へのアクセスとして安心してご利用下さい。
(編集部)

近年ペースメーカー植え込み患者への電磁障害の懸念が話題に上ることが多い。この会でも日常生活や病院さらには職場の環境下におけるペースメーカーと電磁障害の可能性について述べてきた。今回は近く交通手段として登場するリニアモーターカーがペースメーカー植え込み患者にどのような影響を与えるかに関して我々がおこなった調査の結果を報告する。磁気浮上式リニアモーターカーはすでに上海で営業運転が行われているが、我が国でも2005年に名古屋市郊外で国際博覧会（2005年日本国際博覧会；略称：愛知万博）が予定され、この博覧会会場への交通手段の一つとしてリニアモーターカーが使用される予定である。このリニアモーターカーは上海を走っているものと同じ方式をもつ常電動リニアモーターカーで東部丘陵線の名称で地下鉄藤ヶ丘駅から万博会場の八草駅間を走る。しかし、ペースメーカーや植え込み型除細動器を装着した患者にリニアモーターカーが与える影響についての報告は極めて少ない。そこで、我々は愛知高速交通株式会社、中部HSST開発株式会社、愛知県企画振興部交通対策課の協力を得て常電動リニアモーターカーが植え込み型不整脈治療機器に与える電磁障害の影響を検討したので報告する。

ペースメーカー植え込み患者の間では携帯電話の使用に関していまだに抵抗のある人もいるがそのような患者ではリニアモーターカーと聞くだけで身震いをするかもしれない。また、今回なんとしてでも乗ってみたいと考えている人もいるかもしれない。いずれにせよ、リニアモーターカーとはどのようなものを十分に知らないと安全かどうかの判断が出来ない。そこで、名古屋市郊外を走る常電動リニアモーターカー（HSST:High Speed Surface Transport）

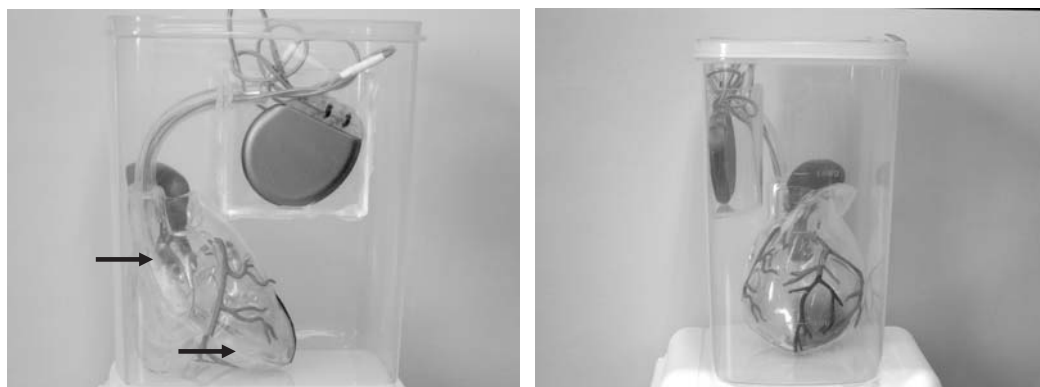


の仕組みを超高速リニアモーターカー（S-Maglev：Super Magnetic Levitation）と対比して説明を加える。S-Maglevは現在JRが実験を行なっているが営業運転のめどはいまだ明らかにされていない。

HSST（図1）の浮上原理は車両に搭載された常電動磁石（一次電極）とレール（二次電極）との間に働く吸引力を利用して浮上する。他方、S-Maglevは車両に搭載された超電導コイルと軌道側壁の“8の字コイル”との間に生じる電磁誘導力を利用している。推進はHSSTではリニアモーターにより走行し車両には車輪がない、速度制御は車両側でおこなわれる。S-Maglevでは運動する超電導コイルとこれにより発生する磁場と軌道に施設された推進コイルとの間を同期させ、吸引・反発力が生じこの力を推進に用いている。150km以下では浮上力が弱いため車輪走行を行なっている。また、速度制御は地上側の電力変換変電所で行なわれる。推測される電磁環境面の違いは、HSSTでは電磁石と鉄レールとの閉鎖回路であり、浮上に使用する電力量は全体の10%程度と小さく問題となることは少ない、通常の電車と同じくスイッチのON、OFFによりVVVFインバータから発生する変動磁場やフィルター・リアクトルからの直流磁界の影響が大きいと思われる。S-Maglevでは超電導コイルからの磁界が大変強力であるが、車体磁気シールドがされているため影響は少ないかもしれない。

図 2

リニアモーターカーの電磁障害の影響を検討するのに使用した生体モデル



上底面 11×16cm
下底面 9×14cm
高さ 18cm

生理食塩水により満たされた血管と心臓モデルに2本のペーシングリードが挿入されている

常電動リニアモーターカーの植え込み型不整脈治療器に与える電磁障害の影響を以下の機器で検討した。対象となったペースメーカーはGuidant/Intermedics Virtus Plus II DR, St Jude/Fukuda Affirmity, Medtronic Kappa DR, ElaTalent DR, Ela Symphony DR, Vitatron Selection DR, BiotronikPhilos DRの6社7機種、植え込み型除細動器（ICD）としてはGuidant/Intermedics Prizum II DR, Medtronic Gem II DRの2社2機種を用いた。いずれの機種も極性を双極と単極にそれぞれ変更して用いた。なお、レート応答機能はOFFとした。その他のパラメータは臨床に用いる標準的な値をプログラムした。いずれの機種も電磁障害の測定時には心拍シュミレーターに接続した生体モデルに装着して試験をおこなった(図2)。試験開始前後でそれぞれの機種に対応するプログラマーを用いてペースメーカーとICDの作動状況を調べた。電界の測定にはChase社EMC20を、磁界測定は低周波帯にCombinova社MFM10高周波帯にCombinova社MFM1000を用いた。また、周波数分析にMicronics社MSA338を用いた。

リニアモーターカーの電磁障害を次の条件①着地状態で列車から40cm離れたホーム上、列車が浮上した状態で40cm、150cm離れたホーム上②列車停車時ならびに走行時にVVVFインバータおよびフィルター・リアクトル近傍の床から約50cm離れた座席上③列車通過時の40cm離れたホーム上④浮上している列車への乗降⑤列車すれ違い時で測定した。

表 1

各種条件下の磁界および電界強度

Linear motor car (HSST)	磁界強度		電界強度 (Volt/m)
	低磁界領域	高磁界領域	
	(mT)	(nT)	
列車から 40cm (着地)	0.12	0.055	0.46
列車から 40cm (浮上)	0.20	0.165	0.54
列車から 150cm (浮上)	0.20	0.054	0.62
乗車	0.13	0.093	0.92
VVVFの近傍、座席 (移動中)	0.13	48	2.95
VVVFの近傍、座席 (停車)	0.04	110	0.36
Reactor の近傍、座席 (移動中)	0.09	48	2.45
Reactor の近傍、座席 (停車)	0.05	123	1.46

表 1 に測定結果のまとめを示す。リニアモーターカー浮上時に 40 cm離れたホーム上における直流磁界は 0.20 mT、電界 0.54 Volt/mであった。リニアモーターカーへの乗車時、直流磁界 0.13 mT、電界 0.92 Volt/mを示した。列車走行時の VVVF 近傍の座席上では直流磁界 0.13 mT、電界 2.95 Volt/mを認めた。また、フィルター・リアクトル近傍の座席上では直流磁界 0.09 mT、電界 2.45 Volt/mであった。VVVF およびフィルター・リアクトル近傍を含め前述の条件で行なった試験を通して ICD が電磁波ノイズを頻拍性不整脈と誤認するようなことはなかった(図 3、4)。

列車乗降時の磁界測定と電界測定に問題はなかったが、Virtus Plus II DR ペースメーカー(sensitivity:atrial 0.75mV, ventricular 2.5mV)では体表面心電図においてシュミレーター信号にノイズの混入を認めた。しかし、同時に記録した心房と心室の心内心電図にはノイズは認められず誤作動も全くなかった(図 5)。ホーム上に設置した対象機器への列車通過試験においても磁界測定と電界測定に問題はなかった。モニター心電図においても体表面ならびに心内心電図ともに全く異常を認めなかった。連続運転中の機器への影響もモニター画面による監視では異常を認めなかった。周波数分析においてもペースメーカーや ICD に影響を与えられられる周波数は記録されなかった。また試験終了後に記録したテレメトリーデータはいずれの機種も異常値やプログラムの変更を示さなかった。双極誘導と単極誘導の差異は明らかであり、やはり極性を

図 3

**フィルター・リアクトル近傍座席における
植え込み型除細動器のモニター心電図**

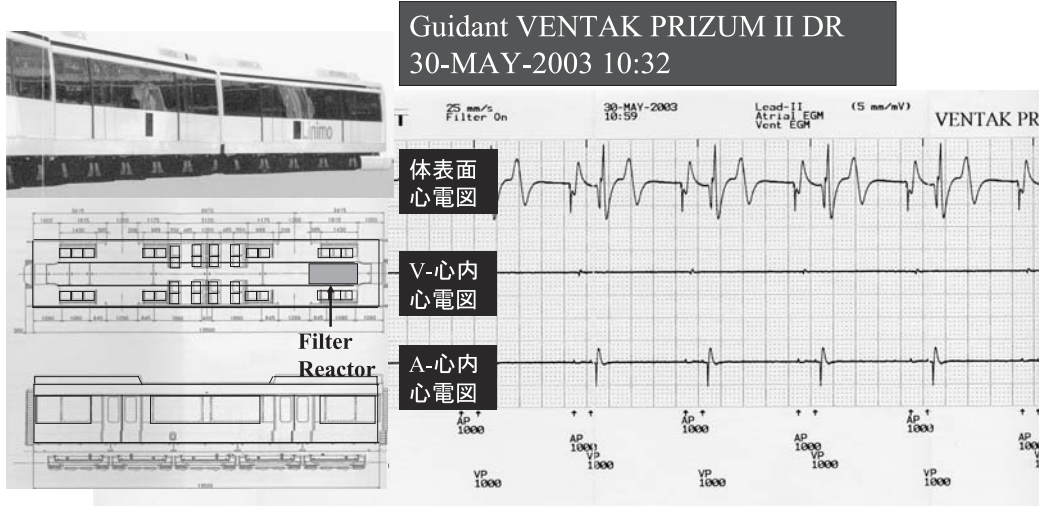


図 4

**フィルター・リアクトル近傍座席における
植え込み型除細動器のテレメリーデータ**

Counters Report			Guidant VENTAK PRIZUM II DR
Counters – Tachy 30-May-2003 to 30-May-2003			
Episode Counter	Since Last Report	Device Total	
Treated			
VF Therapy	0	0	
VT Therapy	0	0	
VT-1 Therapy	0	0	
Commanded Therapy	0	0	
Nontreated			
No Therapy Programmed	0	1	
Nonsustained Episodes	0	0	
Total Episodes	0	1	
Therapy Counters			
Shocks Attempted			
Delivered	0	0	
Detection Met	0	0	
Physician Commanded	0	0	
Diverted			
Reconfirm	0	0	
Physician Commanded	0	0	
ATP Schemas Attempted	0	0	
Delivered			
Detection Met	0	0	
Physician Commanded	0	0	

単極にした場合列車の加速時や制動時にモニター心電図上ノイズをより多く認めたが実際にペースメーカーが影響を受ける事は無かった。列車のすれ違い時

図 5

列車乗降時に得られたモニター心電図

Intermedics Virtus Plus II
30-MAY-2003 10:25

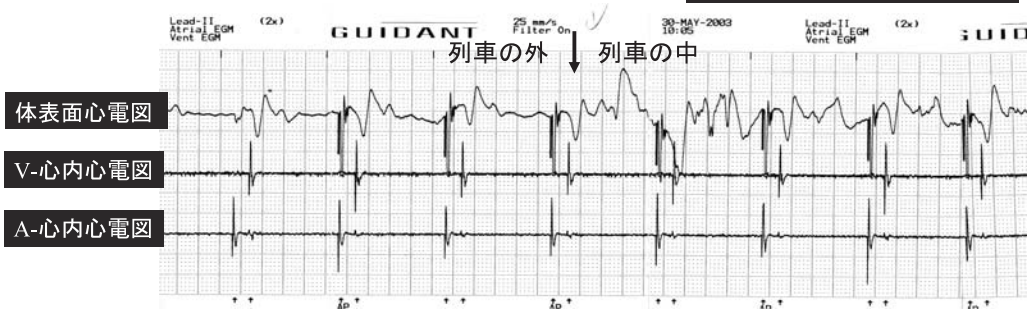
ATIAL

Pulse Width 0.40
Amplitude 3.5
Sensitivity 0.75
Refractory(PVARP) 250

Mode DDD
Lower Rate Limit 60
Max Tracking Rate 120
Max Sensor Rate ----
AV Delay(Paced) 150

VENTRICULAR

Pulse Width 0.40
Amplitude 3.5
Sensitivity 2.5
Refractory 250



に電界、磁界が相加あるいは相乗されペースメーカーへの影響が懸念されたが、実際の走行実験で検討したすべてのペースメーカーは異常を示さなかった。

科学技術の進歩に伴いペースメーカーやICDを植え込んだ患者に対する電磁障害が問題となっている。東部丘陵線の周辺環境アセスメントの報告によれば東部丘陵線が周辺環境に与える影響はほとんどないことがすでに報告されている。しかし、ペースメーカーやICDに対する検討は測定された磁界の数値からその安全性を推測するのみであった。ペースメーカーやICDを植え込んだ患者では機器に対する直接的な電磁障害の影響のみならず、心臓に刺激を伝えるリード線がアンテナの役割を果たして電磁障害を引き起こすことも重要な要因である。このような検討には実際の患者における検討が最も望ましいが、倫理的観点から人体実験は不可能である。そこで不整脈治療機器を生体モデルに接続して検討した。今回の検討結果は電界、静磁界においては全く問題がなかった。事実、生体モデルを用いた検討ではいずれの機種もいかなる条件下でもペースメーカーやICDに影響を与えることはなかった。

最初に説明を加えたようにHSSTとS-Maglevでは全く異なった様式を採用しているので両者をリニアモーターカーという同一の概念で考えることは危険である。当然ではあるが今回のHSSTを用いて検討した結果がS-Maglevに当てはまることはないと考えている。

今回の検討における問題点はレート応答反応の機構をOFFとした点である。体動センサーを持つペースメーカーが走行時に心拍数の急激な変化を認める可能性も否定できない。しかし、生命に重大な結果をもたらすとは考えられないので検討事項から削除した。今回の検討の問題点は試験の対象となった機種が少ないため、全てのペースメーカーやICDにこの結果が当てはまるとは言い難い点である。しかし、代表的な機種での検討結果が異常を示さなかった点は評価できるものと考えている。

常電動リニアモーターカーが植え込み型不整脈治療機器に与える影響を検討した我々の試験は人体に限りなく近い状況で行なわれた初めての試験であった。今回の試験結果をまとめてみると、試験対象機器を臨床使用と同様な設定で行った検討ではペーシング不全、センシング不全や不整脈の誤認は起らなかった。また、各試験前後に行ったテレメトリーの結果から電磁障害によるプログラムの変更、不整脈誤認によるautomatic mode switchingの作動やICDの作動は認めなかった。以上より、我々の検討は限られた状況下、限られた機種を用いて行った試験ではあったが、植え込み型不整脈治療機器を装着した患者が常電動リニアモーターカーを安全に利用できることを示唆したものであった。

新年号投稿募集

平成17年1月号の巻頭のカラーページ用の写真を募集します。また、エッセイ、短歌、俳句、絵画等、皆様の会誌として投稿をお待ちします。締切りは1月7日まで、掲載分には記念品を差し上げます。新年投稿文と記載願います。 (事務局)