

磁気と健康



Information
on The
Magnetic
Health Science
Foundation

財団法人 磁気健康科学的研究振興財団

目 次

1. 脳科学に基づく賢い生き方	1
(東京電機大学名誉教授、理事、北里大学医学部客員教授)	
1. はじめに	10. 記憶は脳でどのように行われるか
2. 要旨	11. 大切なことは体で覚えよう
3. 工学者が何故に脳科学を研究するのか？	12. 思考する脳細胞
4. 脳を測定する診断機器	13. 過保護がはばむ感性の発達
5. 脳についての基礎知識	14. 学校成績と社会での成功は異なる
6. 人間にとってもっとも大切な前頭前野	15. テレビゲームの問題点
7. 脳細胞の発育には臨界期があります。	16. 朝食を必ず取りましょう
8. 早期教育の利点と問題点	17. 幸運を導く生き方
9. 脳細胞は使えば使うほど発育します。	18. 結び
<hr/>	
2. 磁気刺激の現状と応用技術について	11
(広島市立大学大学院 情報科学科 小田垣 雅人)	
1. はじめに	4-1 磁気刺激式尿失禁治療
2. 磁気刺激の利点と欠点	4-2 磁気刺激による疲労回復効果
3. 脳機能を解明する手段としての磁気刺激	4-3 TMSの精神疾患治療への応用
4. 磁気刺激の応用	4-4 運動機能のリハビリテーション まとめ
	5. 参考文献
<hr/>	
3. 魚類のうろこを用いた骨代謝評価系の開発と磁場研究への応用	19
(金沢大学 還日本海域環境研究センター 鈴木 信雄)	
1. はじめに (魚もヒトの医療や治療に貢献している)	
2. 魚類のカルシウム代謝の特徴 (魚は背骨でなく、ウロコでカルシウム濃度を調節)	
3. ウロコを用いた骨代謝評価システムの開発 (ウロコを骨のモデルとして骨に対するホルモンの作用を解析できる)	
4. 磁場による骨形成機構の解析 (骨を壊す細胞は、磁場の強度により異なった応答をする)	
5. おわりに (ウロコは磁場を用いた骨の治療にも貢献できる可能性がある)	
<hr/>	
研究助成金授与者	23
日本生体磁気学会（金沢賞）への研究奨励賞の授与	23

1. 幸せな人生のための脳科学

東京電機大学

小 谷 誠

1. はじめに

21世紀は「脳科学の時代」と云われています。脳の発育過程を科学的に解明することによって、将来、社会で活躍できる人間に育てるためには、子供の時からどのような教育をすれば良いか、また、老人になっても認知症にならないためには、日頃どのようなことに心がけて生活をすれば良いかということが検討されています。

本原稿は、私がいろいろなところで講演した内容を皆様に興味を持っていただけそうな部分に重点においてまとめたものです。

最初に要旨を述べますので、興味がありそうな部分だけを選ばれて読まれても理解できるように執筆しています。

2. 要旨

(1) 何故に脳科学がブームになったのか？

最近、新聞やテレビなど多くのメディアで脳科学が取り上げられています。その理由の一つは、ここ30年間で脳を計測する機器が急速に発達し、従来は見ることができなかつた脳の働きが、脳に傷つけることなく測定でき、脳についての新しい事実がわかつてきたからです。もう一つの理由は、私たちの寿命が伸び、それに伴って、今後ますます認知症患者が増加することが推定されており、将来の大問題になると予想されているからです。

(2) 脳細胞がもっとも多いのは何歳でしょうか？

人間は生まれて1年以内のときが脳細胞の数がもっと多いのです。しかし、赤ちゃんのときの脳細胞は、図1の右側に示すような小さな神経細胞体がほとんどです。神経細胞体から樹木の枝に相当する樹状突起が成長して神経線維となり、隣の脳細胞と連絡が取れるようになったときに一人前の脳細胞として活動できるのです。従って、生まれたばかりの赤ちゃんの脳細胞は樹状突起があまり育っていないなくて、何の働きも出来ないです。ここではこの神経細胞体を樹木に例えて細胞の種と呼ぶことにしましょう。

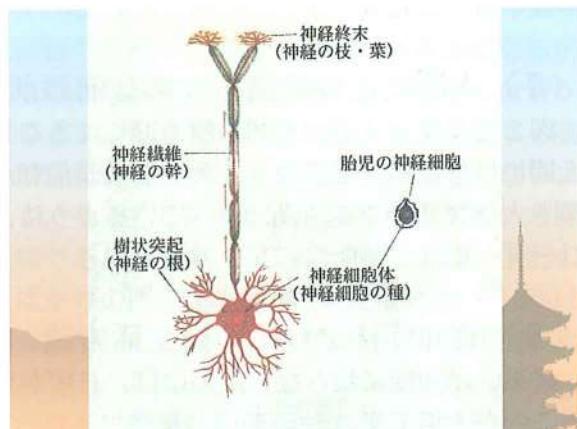


図1 神経細胞の発育

(3) 脳細胞が発育するのは20歳ころまでです

脳細胞の種の多くは栄養成分が行き渡らず、芽を出さずに死んでしまいます。栄養成分が与えられ、生き残った細胞体だけが成長して働く脳細胞になるのです。脳細胞が育つのは、幼児期から大学時代までです。特に脳細胞が勢いよく育つのは、中学・高校時代で1日200万個の割合で育ちます。この時期にどのように栄養成分を与えるかによって、いろいろな特徴を持った人間に育つのです。脳に与える栄養成分とは、脳細胞に与える刺激です。すなわち、その部分の脳細胞を使用するように努力することです。

(4) 脳細胞の仕事には分担があります

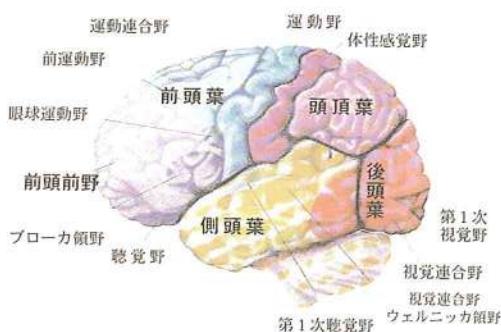


図2 大脳の基本的な構成

人間の脳細胞は生まれながらにして、仕事の分担が与えられています。例えば、身体を動かす脳細胞は、図2に示す脳の運動野と呼ばれている部分の脳細胞が担当します。幼児期から運動していると、運動野の脳細胞に栄養成分が多く渡り、勢いよく育つのです。その他、脳には感覚野、聴覚野など細かく担当が分かれています。

(5) 脳細胞の発育には順番があります

脳細胞は、脳の場所によって発育する時期が異なります。植物に例えると春に育つ種があったり、

秋に育つ種があるようなものです。運動野や聴覚野、痛覚などを担当する感覚野などは胎児の時から発育します。物を見る視覚野などは出産直後から発育します。また、人間にとって最も大切であることが最近わかった前頭前野の脳細胞は出産直後から発育しますが、大きく発育する時期があります。脳細胞の発育の順番を理解することが若いときの教育では重要です。

(6) 脳細胞の発育は最初が大切である

人間をはじめとして、生物の脳細胞が発育するためには、外部からの適当な刺激が必要です。

しかも、刺激が有効に働く期間は限られており、この期間を過ぎると刺激を与えてても大きな効果はありません。この期間を臨界期と呼んでいます。例えば、生まれたばかりの幼児を2、3年間真っ暗な部屋で育てると、光刺激がないので、幼児の脳内の視神経が育たず、正常な幼児でも全員失明します。しかし、大人になって2、3年暗闇に置いても一度育った視神経の多くは死滅することはありません。

(7) 人間にとって最も大切な前頭前野

図2に示すように、人間の額の近くにある脳細胞を前頭前野または前頭連合野と呼びます。人間には他の動物と異なり、大きな前頭前野があります。前頭前野は脳の司令塔と呼ばれ、最も大切な部分です。後に述べているように、前頭前野が発達している人は、将来、社会のリーダーになる可能性の高い方です。

(8) 認知症になりにくい生活方法

将来、認知症にならないためには、日頃から、例えば、次のようなことに心がけて生活することが大切です。

- ① 他人との余暇利用を活発にすること
- ② 常に明るく前向きの夢をもつこと
- ③ 読書を心がけすること

認知症を予防する生活とは、つまり前頭前野を鍛える生活をすることです。後に詳細に解説しています。

3. 工学者が何故に脳科学を研究するのか？

(1) 人間は約0.1ボルトの電気信号で働いています

「工学部の人間がなぜ脳の研究をしているのですか？」と聞かれることがよくあります。その質問に対して、「人間の身体は約0.1ボルトの電気信号で働いています。私たちが考えたり、

手足を動かすのも、この電気信号が行っています。脳で発生した電気信号が神経を通じて手足に伝わり、手足を自由に動かすことができるのです。医師法で医者でないと診断や治療は禁止されていますが、脳内の電気信号の発生や伝達の研究は、医師より電気工学者が向いています」と私はお答えします。

1975年（昭和50年）から2年間、私は米国のマサチューセッツ工科大学（MIT）に留学して、人体から発生する微弱磁界を計測する研究を行いました。帰国後は、労働者の肺から発生する磁界を計測して、肺に溜まっている粉塵量計測装置の開発や脳から発生する磁界の計測装置の開発し、それを用いて脳機能の解明の研究を行っていました。

（2）脳磁気計測装置の開発が国家プロジェクト研究に選ばれる

1998年頃、当時の通産省から依頼があり、次期国家プロジェクト研究選考委員30名ほどの前で講演する機会がありました。その講演の後、1年以上経過したとき、通産省から研究題目「高度脳磁場計測装置の開発」、研究機関は5年間、予算は総額57億円で開発研究を実施することを決定したという報告を受け、大変驚きました。

2000年（平成2年）より東京電機大学千葉ニュータウンキャンパスに日立製作所、東芝、横河電機など10社から若い優秀な研究者50名ほどが集まり、熱心に研究を行いました。このプロジェクト研究が終了後、通産省の下部組織であるNEDOより本学に3億円の開発研究費をいただき、写真4に示す脳磁計を開発して、脳機能の解明の研究を行ってきました。

脳科学がブームになった昨今、私はいろいろなところで講演を依頼されます。その時、医師でない私が医学的な話をするときに疑問を感じることもあります。しかし、プロジェクト研究を通じて、日本を代表する多くの脳外科教授と懇意にさせていただき、ご指導を受けてきました。医師との交わり通じ、脳内の電気活動については、医師より私の方が詳しいという自負を持って講演しています。

4. 脳を測定する診断機器

（1）名医の条件

世間でよく云われている脳卒中という病気は、脳が麻痺して手足や言葉が不自由になる病気です。その原因は、脳の中で血管が詰る病気すなわち脳梗塞によるものと、脳内の血管が裂けて出血しておこる脳出血によるものとがあります。脳梗塞の場合には血流を良くする薬を投与しなくてはならず、一方、脳出血の場合には出血を止める薬を投与しなくてはなりません。このように治療方法がまったく異なります。そのため、以前から脳卒中の診断の名医とは、脳出血か脳梗塞であるかを診断できる医師がありました。しかし、現在では、下記の示す脳計測装置が実用化され、大学を終了したばかりの医者でも、脳出血か脳梗塞の区別は簡単にできるようになりました。そのうえ、脳のいろいろな機能の解明についての研究が大きく前進している。

この節では、脳を計測する診断装置について、以下に簡単に説明します。

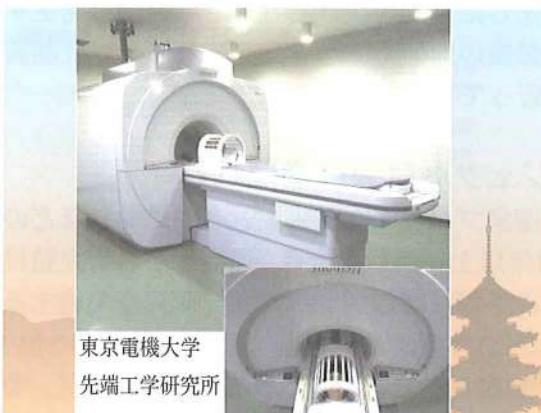
（2）X線CT

30年ほど前に実用化された装置です。そのころ、米国では、1台数億円もするこの高価な診断装置は米国内の各州に1台あれば充分であるという政府の見解があり、テレビなどメディアで大変話題になりました。現在では、我国の個人病院にも設置されるほど普及しています。

頭部が入る円形部分の中をX線発生源が回転して、頭に各方面からX線を加えて、頭部を立体的に撮影する 写真1



この装置は放射線を脳に各方向から加え、その出力をコンピューターで計算し、脳内を横方向に輪切りして脳内の各組織を立体的に表示するものです。そのため、診断技術は格段に進歩し、脳出血か脳梗塞かの診断は容易にできます。しかし、脳の活動している部位を示す血流の計測はできません。写真1にX線CTの外観を示します。



数テスラーの強い磁場がある円形部分の中に頭を入れると、脳から電機信号が発生する。その信号を計測して画像を構成する

写真2

(3) MRI

脳に1テスラー(1万ガウス)から3テスラー程度の強い磁場を加えて、脳内の各組織を任意な方向から輪切りにして立体的に見ることができます。25年ほど前に開発され、15年ほど前から病院に設置されるようになりました。MRIを改良して、血流が計測できるfMRI(機能的MRI)が日本人小川誠二博士によって開発されて以来、脳機能の研究にfMRIが非常に多く使用されるようになりました。

脳の活動している部位には血液が集まることから、血流を計測することによって脳の活動部位を特定できるのです。

写真2に日本製のMRIを示します。その装置はfMRIとしても使用できます。先のX線CTや次のPETの外観はMRIとあまり変わりません。

(4) PET

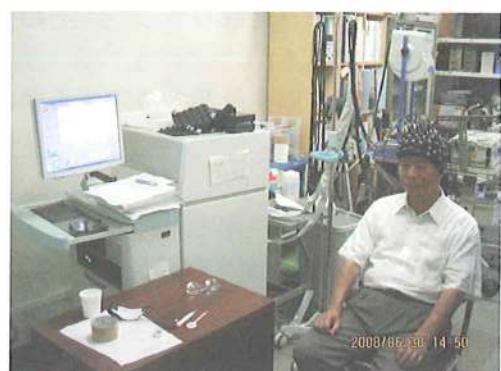
PETは、陽電子放射断層撮影法の英語名の頭文字をとったものです。脳内に陽電子を注入し、それが陰電子と結合して消滅するとき発生する放射線量を計測して脳内の活動を計測するものです。

この陽電子を作る装置がかなり大掛かりな装置となります。外観はX線CTと同じですので、写真は省略します。

PETは30年ほど前に開発されました。莫大な設備費を必要としたため、それほど普及しませんでしたが、最近、人体各部のがん組織の検出が可能であることがわかり、普及しつつあります。

(5) 光トポグラフィー

光トポグラフィーはNIRSとも呼ばれます。頭に弱い光をあて、脳からの反射光を計測して脳内の血流量を計測する装置です。上に述べた4つの装置が大変高価であり、その上、一度設置した後、移動が困難です。それに対して、光トポグラフィーは容易に移動でき、価格も上の装置の1割程度であり、現在、脳の活動部位を特定できる装置として非常に活躍しています。特に、乳幼児の脳機能の計測では威力を発揮しています。写真4は、筆者が東京電機大学にて、読書しているときの脳活動を計測している光景です。



頭の表面数十箇所から脳に光信号を加えて、その反射光を計測して血流の画像を構成する

写真3

(6) 脳波計

人間に限らず、動物は約0.1ボルトの電圧で神経が活動しています。脳神経の活動電圧を計測したものが脳波計です。この装置の歴史は大変古く70年ほど前から実用化され、上の装置と比較すると安価であり、広く普及しています。臓器移植法に基づく脳死の判定にはなくてはならない装置です。

脳波計の問題点は、脳内で発生した電圧を、電気を通しにくい頭蓋骨の上から計測することです。そのため、電圧の発生源、すなわち、活動部位を特定するのが困難です。



東京電機大学で開発した120チャンネルの脳磁計。脳から自発的に発生している微弱な磁気を瞬時に計測して、脳の活動している場所を知ることができる

写真4

(7) 脳磁計

脳内に約0.1ボルトの活動電圧が発生すると、脳内に電流が流れます。電流が流れるとき必ず磁界が発生します。脳から発生するこの磁界を計測して、脳機能を計測する装置が脳磁計です。磁界は頭蓋骨の影響を全く受けないので、脳の活動部位を特定するのに優れています。すなわち、脳波計は、頭蓋骨というくもりガラスを通して脳内を見ているのに対して、脳磁計は透明なガラスを通して脳内を見ているのです。脳波計と脳磁計の大きな特徴は、上の5つの装置では計測できない1秒間以内という短時間の脳の働きが計測できるのです。人間の脳は多くの事柄を1秒間以内で判断して、行動を起こしていますが、脳磁計を使用すると、0.01秒ごとに脳のどの部位が活動しているかを計測できるのです。

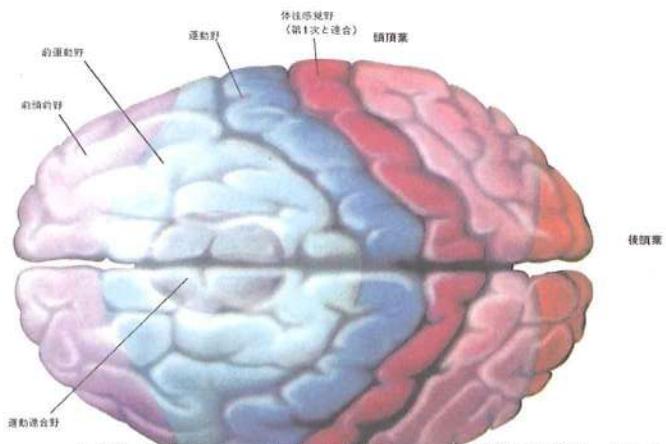
5. 脳についての基礎知識

人間の大脳の基本的な構成を図3に示します。中心に呼吸や血圧など人間が生きていくのに大切な生命の中核と呼ばれている脳幹があります。その下に脳からの指令を体全体に伝える脊髄があります。脳幹の上に神経細胞から構成されている二重の皮質があります。下側の古い皮質は、人間の本能に関係する食欲、性欲、快樂、怒りなどに関連した働きをします。その上の新しい皮質は、大脳皮質と呼ばれています。平均の厚さが3ミリ程度のごく薄い部分ですが、人間はこの大脳皮質が大変発達しています。

この写真で見えてる部分は大脳皮質だけです。

大脳について基本的なことを以下に説明します。

- ① 人間の脳は右脳と左脳があり、これらは2億本の神経細胞で接続されています。
- ② 人間の大脳皮質は20歳過ぎまでに完成し、140億個の神経細胞（ニューロン）から構成されています。脳全体では、千数百億個の神経細胞で構成されています。
- ③ 人間の大脳皮質の神経細胞は40歳過ぎれば、1日平均30万個の割合で死滅します。
- ④ 人間の脳細胞が正常に発育するためには最初の数年間の環境がもっとも大切です。



大脳を真正面から見た写真。右側が後頭部 図3
出典：塙田裕三編「脳」日経ヘルスサイエンス

- ⑤ 猫など小動物の脳細胞の発育には最初の数ヶ月間の環境が大切です。
- ⑥ 人間の脳細胞は使えば使うほど発達し、また、死滅する脳細胞数も少なくなります。
- ⑦ 脳だけでなく、身体も使えば使うほど発達し、能力を維持することができます。
- ⑧ 脳は分業体制が確立しています。そのため、脳障害を起こした時には、リハビリで機能回復が可能です。

6. 人間にとて最も大切な前頭前野

先に述べたように、人間には大脳皮質の30%に相当する大きな前頭前野があります。人間に近いチンパンジーと猿には10%、犬には7%、猫には4%ほどの前頭前野があることがわかっています。人間の前頭前野がどのような働きをしているか、長い間わからなかったのですが、最近の脳機能計測装置の進歩でほぼ解明されました。その結果、次のような働きをしており、人間にとて最も大切な脳細胞であることがわかりました。

(1) 人間の前頭前野の働き

- ① 仕事に対して意欲が増し、創造性や実行力が生じる。
- ② 思慮深くなり、判断力が増す。
- ③ 他人に対して思いやりをもつ、愛情深い人間に育つ。
- ④ 欲望的や感情的にならず、自己コントロールできる人に育つ。
- ⑤ 計画的な行動ができ、社会で活躍できる人に育つ。

(2) 前頭前野の発育時期

脳の解剖的な所見によると

- ① 0～3才頃まで急速に発育する。
- ② 4～10才頃まで緩やかに発育
- ③ 11～18才頃まで急速に発育する。

(3) 前頭前野を育てる方法

- ① 幼児時代には、親子のコミュニケーションが大切。
両親は愛情を持って子供を育てる。
- ② 5～10才頃までは、読み書きと簡単な計算を教える。
記憶力をつけることに重点をおく。
- ③ 中学時代から大学院時代には、将来に大きな夢と希望を持ち続けること
目標を持ってコツコツ努力する習慣をつける。
- ④ 中・老年期で気力のある方の場合
 - ・仕事でも趣味でも創意工夫に努力する
 - ・料理をする。
 - ・楽器を演奏する。
 - ・編み物をする。
 - ・歌を歌う。
 - ・各種の会合に出席し、多くの方と会話する。
- ⑤ 中・老年期で気力を失った方の場合
 - ・毎日5分程度、音読をする。
 - ・(集団で会話しながら) 料理をする。
 - ・毎日10分程度、簡単な計算をする。
 - ・男女でダンスする。
 - ・好きな歌を歌う。

7. 脳細胞の発達には臨界期があります

人間をはじめとして、生物の脳細胞が発育するためには、外部からの適当な刺激が必要です。しかも、刺激が有効に働く期間は限られており、この期間を過ぎると刺激を与えてても大きな効果はなくなります。脳の神経細胞網が完成する時期を臨界期と云います。

例えば、猫について大変興味ある実験が行なわれています。生まれたばかりの猫を真っ暗い部屋で数週間ほど飼育すると、光刺激がないので、猫の脳内の視神経が育たず、正常な猫でもすべて失明します。しかし、一度育った視神経は数ヶ月間、暗闇に置いても視神経が死滅することはありません。

さらに、興味ある実験を1970年にケンブリッジ大学で行っています。この実験は、生まれたばかりの猫を縦縞しか見えないような環境で飼育すると、横縞を判別する視神経が育たず、猫をテーブルの上に乗せると横の境界線が判別できず、猫はテーブルから落ちてしまいます。また、それとは逆に横縞しか見えないような環境で飼育すると、縦縞を判別する視神経が育たず、縦棒などに衝突します。このようなことは生理学的にも視神経を解剖して証明されています。

猫など小動物の臨界期は2、3ヶ月といわれていますが、人間の場合には、脳細胞の早い部分で半年、遅い部分で7、8年程度と云われています。そのため、人間の脳細胞が正常に発育するためには最初の数年間の環境がもっとも大切です。

現在、臨界期を変更しようとする研究が行なわれています。

8. 早期教育の利点と問題点

早期教育は、胎児のときから育ち始める脳内の運動野、感覚野、聴覚野を刺激し、その分野の脳細胞の発育を促すので、世界に通じるスポーツ選手や音楽家に育てるには大変有利です。しかし、前頭前野が育ち始める幼児のころからスポーツ、音楽演奏、英会話等の教育に入れすぎると、肝心の前頭前野の発育が遅れる可能性があります。その結果、社会で活躍できる人物になるのが困難となる場合もあります。

世界に通じるスポーツ選手や音楽家になることを夢見て早期教育しても、それで生活できる人は1万人に一人程度であると云われています。そのために、世界的な運動選手に育てるための早期教育は一つの大きな賭けになります。やはり、幅広く脳細胞を育てる教育をした方が無難です。

9. 脳細胞は使えば使うほど発達します

人間の身体は使えば使うほど発達します。例えば、足を使うスポーツをしている人の大股の筋肉は大きくなり、腕を使うスポーツをしている人の腕の筋肉は大きくなります。身体に限らず、脳細胞も使えば使うほど発達します。

脳細胞には仕事の分担があり、運動野の下側の脳細胞は手の動きを担当しています。それより上側の脳細胞は足を担当しています。ところが、子供の頃、手が不自由になり、手の代わりに足を使っていると、足を担当している脳細胞が大きくなり、足を手と同じ程度に使用することができるようになります。足で文字を書くこともできるようになります。このように、脳細胞は外から見ることは出来ませんが、使っている部分は大きく育ちます。例えば、計算は左の脳で行いますが、毎日計算しているとそこの脳が発達し、小説ばかり読んでいるとそれを担当する脳が発達します。

人間は大きく分けて理科系の人と文科系の人がありますが、これは両親からの遺伝子によるものより生活環境によって決まるように思えます。例えば、小・中学校時代に文科系の先生と親しくなれば、先生の影響でその方面的脳を多く使うので、その部分が発達して文科系になると思われます。

10. 記憶は脳の何処にどのように行われるか

脳がどのような方法で記憶しているか、そのメカニズムはまだはっきりしていません。7、8年前に神経線維のシナプスの接合部で記憶しているのではないかというかなり確証の高い論文も発表されていますが、まだ、確定していません。

しかし、脳がある現象を記憶する場合、脳の中心部にある海馬というところで整理されて、その情報を大脳皮質のある特定の場所まで運んで記憶していることは間違いありません。海馬からその記憶場所までの神経細胞からできた道は常時接続されているのではなく、必要に応じて神経軸索の先端部のシナプスが隣の細胞に接合することによって、接続されます。

例えば、他人の顔を見て、その人の名前を思い出すためには、いくつかの神経シナプスでできたスイッチが入らなくてはなりません。もう少しで思い出せるところまで到達しておながち、最終的なスイッチが入らず、名前を思い出せないこともあります。日ごろから繰り返し訓練していると、神経のスイッチも錆付かず、すぐ思い出せるようになります。

何事も神経を集中させて記憶すると、多くの神経回路網に記憶されて忘れるのも少なく、また、記憶した情報を取り出すのが容易になります。すなわち、記憶力が良くなります。また、何かに関連づけて記憶する方法もあります。

記憶は、その情報の質によって大脳皮質のいろいろな場所の連合野に記憶されます。

- ① 耳から入った情報は聴覚連合野に記憶されます。
- ② 目から入った情報は視覚連合野に記憶されます。
- ③ 文字に書くと運動連合野に記憶されます。
- ④ 声に出して覚えると言語連合野に記憶されます。

従って、人の名前などを覚えるときには、聞くだけでなく、文字に書いて、声を出して記憶すると忘れにくくなります。物事を脳細胞に記憶するだけであれば、ほとんどエネルギーを必要としません。従って、多くの情報を記憶していくても頭が重くなることはありません。

11. 大切なことは体で覚えよう

顔は知っていても名前が思い出せないことがあります。それは、上に述べたように脳細胞の一つに記憶しているからです。車の運転や自転車の乗り方、スキーやスケートのすべり方など身体を通じての記憶は、小脳を中心にして大脳皮質の多くの場所で記憶されていますので、忘れにくいのです。絶対に記憶違いを起こしていけないことや瞬時に判断を要することは体で覚える必要があります。

昔から大切なことは身体で覚えよと教えられています。例えば、仏教の世界では、2000年近く前から大切なことは体で覚えるという意味で「体解」という言葉があります。これは、仏教の教えを人前で声を出して繰り返し説明することによって、この教えが体に染み渡り、絶対に忘れなくなるという意味です。

12. 思考する脳細胞

人が思考するときには、脳に記憶している多くの情報を照合して判断することになります。その場合、すべての情報を海馬の指示にしたがって呼び出していくには、時間がかかる。記憶している各脳細胞間を直接結ぶ必要があります。思考することは、脳神経回路を通じて多くの情報のやり取りがあるので、大きなエネルギー（ブドウ糖）を必要とします。そこで、海馬が関与して、情報のやり取りを適当にコントロールしなければ、暴走して脳を破壊する恐れもでてきます。

「記憶」をしているときの脳細胞の働きと「思考」しているときの脳細胞の活動はまったく違っています。そこで、何でも記憶しようとする教育を受けると記憶力は伸びますが、考える力が弱くなります。それ故、「何故だろう」と考える習慣を子供時代から付けることも大切です。

脳研究の立場から考えると、早期教育も良い点もあるが、発育過程の脳細胞に刺激を与えるのも問題です。そのため、若い時には、エネルギーをあまり必要としない記憶に比重をおいた教育を行い、高学年になるにつれて思考力をつける教育が良いと思われます。いづ

れにしても若い時から毎日、コツコツ勉強させることが、脳を健全に育てるために大切であると思われます。

13. 過保護がはばむ感性の発達

「可愛い子には旅をさせよ」という言葉がありますが、脳科学の世界からもまったく同じことが言えます。脳の正常な発達のためには、幼児期に自然環境からの刺激を充分に取り込まることと、親子の強い絆と励ましが必要です。子供をあまりにかわいがるのも問題です。たとえば、少年少女が非行に走る原因の62%は、幼児期の両親あるいは祖父母による溺愛であるという統計結果もあります。

だからと言って、子供を叱りつけているのも問題です。子供の脳が萎縮してしまいます。良いことをすれば誉め、悪いことをすれば叱るという習慣が大切です。以前は、叱って反発心を期待する教育法もありましたが、最近の子供達は恵まれた環境で育っているため、反発心を期待することができず、子供達の長所を伸ばすような教育が大切であると私は思っています。

14. 学校の成績と社会での成功は異なります

学校の成績に一喜一憂するご父母がいますが、学校の成績はその人のもっている能力の半分程度しか表していません。学校時代にはあまり成績は良くなかったけれど、社会に出てから成功する人々が多数います。それは脳の育て方や使い方が異なるからです。学校の成績は主に記憶力に依存しますが、社会で成功するには判断力と実行力などのような、人間の意欲を基にした総合的能力である「人間力」が必要です。この人間力を育てるためには、若いときから前頭前野を育てる教育が必要です。

若い時には脳の働きにバランスを取って、毎日、コッコッ勉強することが大切であると思います。現在の若者は余りに恵まれ過ぎて、自分の将来の目標がわからない人が多くいます。現在の教育においては、若者に目標を持たせて、それに向かって努力せざることが大切であると感じています。読書は勿論ですが、人間関係、苦労、挫折感など多くの経験をされることも必要です。

15. テレビゲームの問題点

平成14年にNHK出版から「ゲーム脳の恐怖」という本が出版され、社会から大変な関心が持たれました。この本の著者は、まえがきに「驚くことに、テレビゲームのなかには前頭前野の脳活動をあきらかに劇的に低下させるものが多いことがわかったのです。このままこれを放置していると、テレビゲームに熱中しすぎる子供たちは、キレやすく、注意散漫で、創造性を養えないまま大人になってしまうと思われます。さらに若年性痴呆状態を加速する可能性が高くなるのではないかと危惧しています。」と述べています。

多くのテレビゲームでは、テレビ画面を見て瞬間に判断して行動する必要があります。この動作を図4によって説明します。まず、目から入った光信号は脳の後方にある視覚野というところに到達し、その後、その前方にある位置や空間、色や形を識別する脳細胞を通って、運動野の手を動かす脳細胞に伝わり、ここからの指令で手を動かすのです。この一連の動作は0.3秒間程度で行われます。その結果、脳の前方に

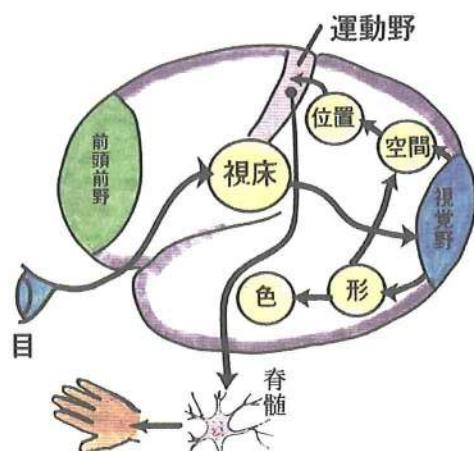


図4 ゲームのときの脳細胞の働き

ある前頭前野を使う機会が少ないので、将来重要な働きをする前頭前野の発育が遅れる可能性が大いにあります。

勿論、テレビゲームの中にはスピードを必要とせず、じっくり考えながら楽しくものもあり、この場合には、前頭前野まで刺激が届き、発育が遅れる可能性少ないと考えられます。

16. 朝食を必ず取りましょう

人体は体内に脂肪としてエネルギー源を貯めることができます。脳のエネルギー源はブドウ糖と酸素ですが、脳内にこれらを貯めることができません。そのため、必要なブドウ糖と酸素は血液が運んできます。ところが、朝食を取っていないと、昼近くになるとブドウ糖が不足して、脳のエネルギー源が脳に回らなくなるので、脳の働きが衰えます。朝食だけはしっかり取りましょう。

現にある地方では、朝食を取っているグループとそうでないグループに別けて、学校の成績を評価しましたら大きな差があることがわかっています。

17. 幸運を導く生き方

「めったに起きないことがあると続いて起きる」とよく言われています。こういう現象は数学的にも説明できます。それ故、良いことが起これば元気よく動き、失敗した時には慌てず動き廻らず、じっと我慢して耐えていることが大切です。例えば、袋の中に黒の碁石99個と白の碁石1個が入っていると仮定します。今、白石を掴み出し、また元に戻して袋の中をかき混ぜます。そして、次に白石を掴む確率は何回目がもっとも高いかを私は学生時代に実験したことがあります。

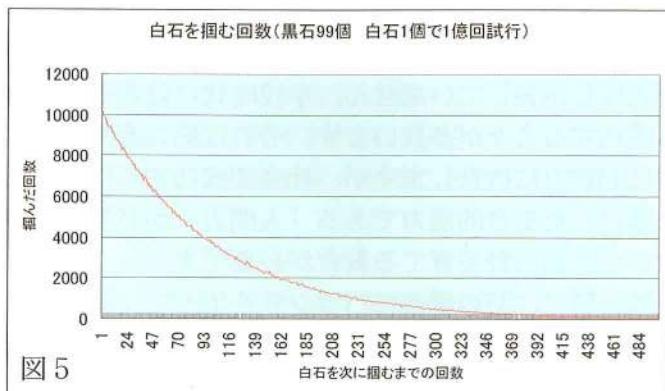


図 5

最近では、パソコンを使用して簡単にシミュレーション実験ができます。その結果を図5に示します。この結果より白石を続けて掴む確率がもっとも高いのです。幸せな出来事も、不幸せな出来事でも、一度起きると続いて起きると云うことができます。

18. むすび

世の中には博識でありながら社会でリーダーになれない方がいるかと思うと、あまり勉強は得意でないのに社会で活躍している方々がいます。その違いは、若いときからの前頭前野の鍛えて方にあると思います。

脳神経の細胞数は、ほぼ20才を過ぎると増加しませんが、それ以降も脳細胞を使うように努力すると、図1に示した脳細胞の幹に相当する神経線維の直径は大きくなり、根と枝葉に相当する樹状突起や神経終末の数が増加して、細胞の活動が活発になることが最近の研究でわかりました。

年を取っても将来に夢を持って、脳や身体を鍛え、幸せな人生を歩みましょう。

参考文献

1. 塚田裕三編「図説 脳」日経サイエンス
2. 森昭雄著「ゲーム脳の恐怖」NHK出版

2. 磁気刺激の現状と応用技術について

広島市立大学大学院 情報科学研究科 講師

小田垣 雅人

1. はじめに

コイルに電流を流することで発生する変動磁場が導体内を貫くとき、導体内にはファラデの法則に従って誘導電界が生じる。磁気刺激法とは、この際に生じた渦電流により神経や筋などの生体組織を非接触で刺激する方法である。1985年に、Barker等がヒトの大脳皮質の運動野に対して磁気刺激を行い、四肢の筋において運動誘発電位(MEP : Motor Evoked Potential)を計測して^[1]以来、磁気刺激法は中枢神経系機能の診断に限らず、様々な神経・骨格系の診断・治療の有用な手段として急速に普及してきた。

脳神経を刺激対象とする経頭蓋磁気刺激法(TMS : Transcranial Magnetic Stimulation)は、脳の機能解明や、うつ病をはじめとする精神疾患、神経変性疾患、不随意運動、てんかん等での治療的応用が研究されている^[2]。今後もTMSのみならず、今後も多くの臨床的な応用が考案され、展開されると考えられる。本稿では、磁気刺激の特徴を総説し、さらに磁気刺激について近年発表された研究成果について紹介したいと思う。

2. 磁気刺激の利点と欠点

磁気刺激は、パルス電流をコイルに流することで発生した磁場により、生体内に誘導電流を誘起させ、神経細胞を興奮させることで可能となる(図1左)。しかしながら、神経を確実に興奮させるためには1T程度の磁束密度を要するため、電極による電気刺激と比べて効率は悪い。しかし、電気刺激(図1右)では、生体組織が有する導電率の影響を直接受けるため、低い導電率を有する頭蓋骨で囲まれた脳を刺激する場合は、外科的に開頭し、脳に直接電極を設置するなどの処置や、比較的大きな電流を頭蓋から印加する必要がある。一方、磁気刺激はコイルから発生した磁場は、生体組織は比透磁率が近似的に1とみなせることから、骨などの組織の影響を受けず、刺激部位に誘導電流を生じさせることができ、非侵襲的な刺激が可能である。したがって、磁気刺激は電気刺激と比べ侵襲度は低い。

表1に磁気刺激と電気刺激の特徴の比較を示す。電極を体表に装着し刺激する電気刺激では、皮膚に存在する痛覚も同時に刺激してしまうため、疼痛を伴うが、磁気刺激は電気刺激ほどの疼痛を感じることなく適用できる。しかしながら、刺激効率の観点においては、磁気刺激は刺激コイルに大電流を流す必要があるのに対し、電気刺激は数mA程度の電流を経皮的に流すことで刺激可能である。このため、磁気刺激装置は、電気刺激装置に比べ大型化してしまう欠点がある。

磁気刺激装置では、いくつかの回路の構成が考案されているが、最も単純な構成の一つを図2に示す。図2において、キャパシタCに蓄積した電荷を、刺激コイルLに放電することで、

瞬時に高電流を流し変動磁場を発生させる。生体内に誘起される渦電流の波形は、変動磁場を微分した波形となり、極性が入れ替わる二相性(biphasic)と、一方向に限定された単相性(monophasic)の二種類に大別することができる。

また、生体内に広がる電流の分布は、コイルの形状や生体組織の導電率の構成により異なる。しかしながら、導電率が一様な無限導体内に誘起される誘導電流の分布は、比較的容易に解析的に求めることができる。図3に導電率が一様な無限導体内の誘起される渦電流分布の計算結果を示す。図のように円形コイルを用いた場合、コイル導線の直下で誘導電流が最大となり、コイル中心直下の点においては誘導電流がゼロとなる。このように、円形コイルを用いた磁気刺激において誘起される電流は、電気刺激と異なり生体内に広く分布するため、刺激部位を特定することは非常に難しい。特に、生体は、骨や脂肪組織、筋など導電率の異なる組織で複雑に構成されており、生体内の電流分布も複雑になるため、有限要素法などの数値解析手法を利用する¹³⁾。

表1 磁気刺激と電気刺激の比較

	磁気刺激	電気刺激
侵襲度	低い	高い
痛み	弱い	強い
刺激効率	低い	高い

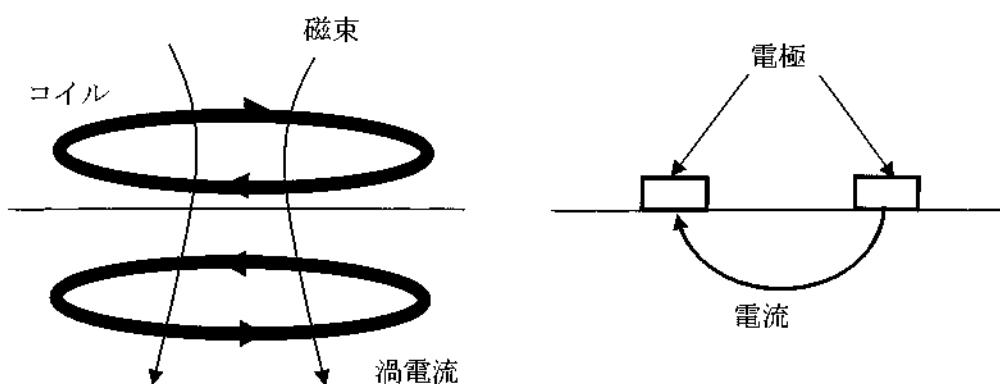


図1 磁気刺激と電気刺激の比較

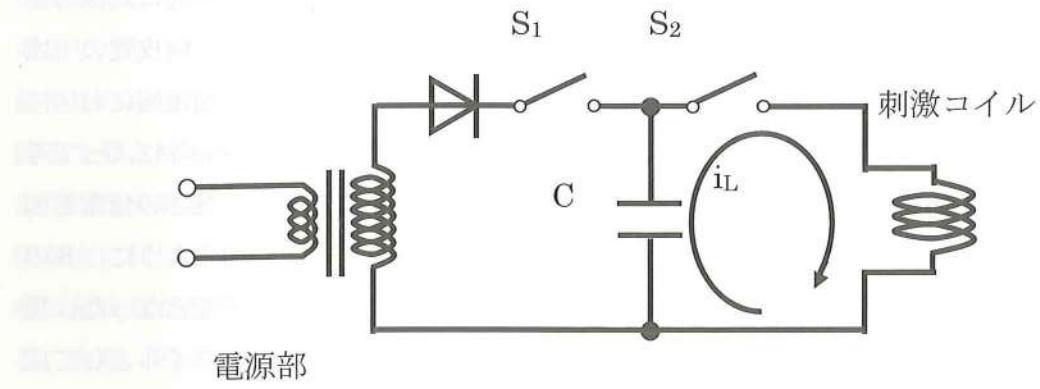


図 2 磁気刺激装置の簡略化した回路図

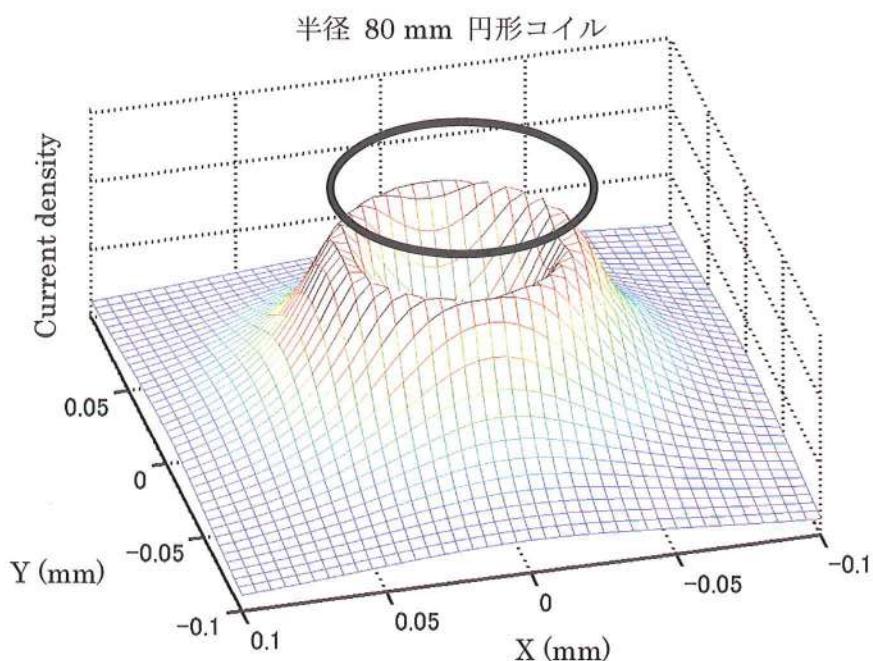


図 3 無限媒質中の誘導電流分布

3. 脳機能を解明する手段としての磁気刺激

経頭蓋磁気刺激(TMS : Transcranial Magnetic Stimulation)は、脳神経を非侵襲的に刺激可能であり中枢運動神経伝導性の検査等に用いられている。健常なヒトの場合、大脳皮質の一次運動野をTMSで刺激すると、脊髄下行路を通り、末梢の筋において計測した筋電図において一定の潜時で運動誘発電位(MEP : Motor Evoked Potential)が観測される。Ueno等によって考案された8の字コイルを用いると、8の字コイルを用いた場合の誘導電流の強さの分布を図4に示すように、2つの円の交点で円の接線方向に誘導電流が生じる¹⁴⁾。図のように、8の字の中心直下に最も大きな誘導電流が生じることで、局所的な磁気刺激が可能となった。現在では、8の字コイルは、円形コイルと並んでスタンダードな磁気刺激用のコイルとして広く利用されている。特に、8の字コイルによる局所磁気刺激は、随意運動の脳内情報処理メカニズムの探索や、視覚の認知過程の解明など脳機能の研究において非常に有用である。

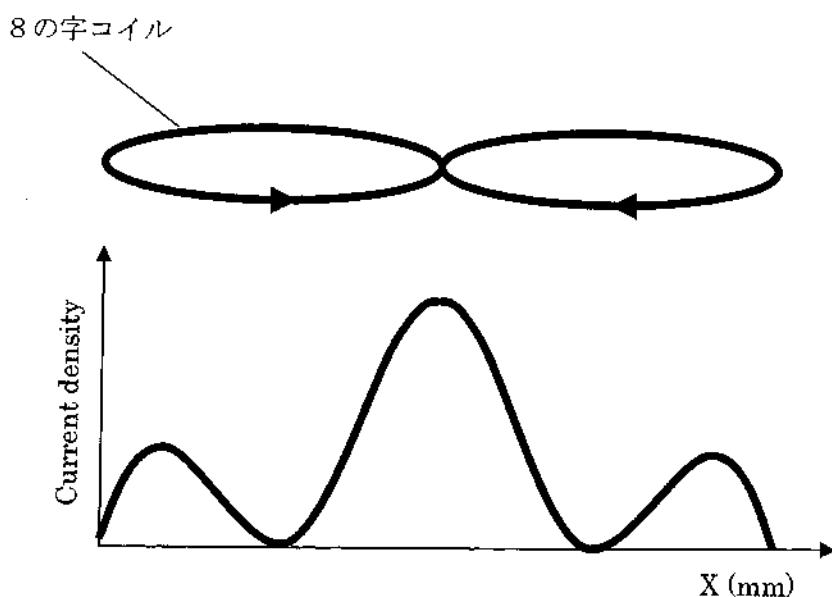


図4 8の字コイルを用いた場合の電流分布

4. 磁気刺激の応用

本章では、磁気刺激がどのような場面で利用されようとしているのかを、最新の研究成果を紹介することにより紹介したいと思う。

4. 1 磁気刺激式尿失禁治療

磁気刺激は、非接触・非侵襲で生体組織を刺激できることから、様々な臨床的な応用が考えられている。次に、磁気刺激の応用の一例として尿失禁を治療する試みを紹介したいと思

う。近年、高齢化社会を迎え、加齢とともに尿を漏らす人の割合が増加している。現在、日本国内で60歳以上の人口の約20%に相当する400万人が何らかの尿失禁の問題を抱えている。尿失禁になった場合、羞恥心などから適切な治療を受けずにふさぎ込んだり、介護者負担が増加したり、社会的な参加が阻害されがちになる。このような観点から、精神的に多くの負担を与えるため、早急に適切な対策を進める必要がある。これまで尿失禁治療法は尿道抵抗を上昇させる骨盤底筋体操や抗コリン薬などの薬剤投与による排尿筋の緊張、収縮の抑制または電流刺激により神経を直接刺激することで筋の収縮、反射の促進させる電気刺激式療法が主に利用されている。しかし、いずれも患者の負担が増加し、治療する強い意志がなければ尿失禁が改善されない場合が多く、痴呆症を併発した場合などの処置は極めて困難である。近年、磁気刺激式尿失禁治療法を提案され、生体における評価、検討の結果、磁気刺激で神経、筋の機能回復を促すことによる尿失禁治療への有効性が示された¹⁵⁾。

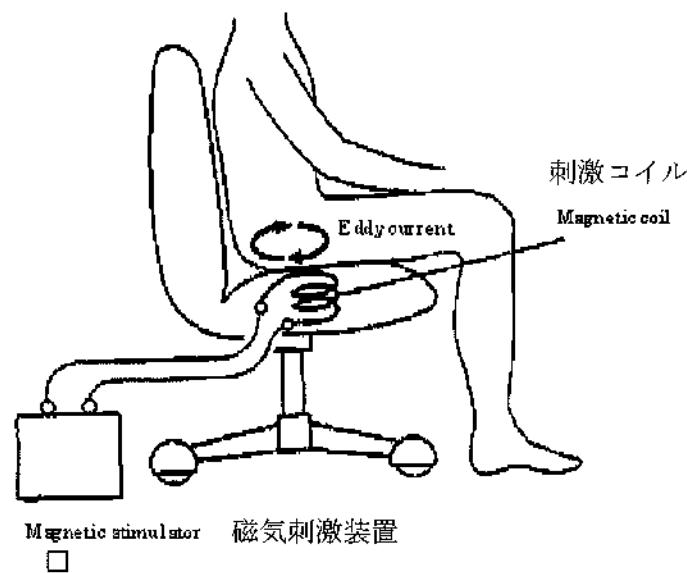


図5 磁気刺激式尿失禁治療法の原理

磁気刺激式尿失禁治療法とは、図5に示すように患者の臀部直下に置かれた刺激コイルにより患者下腹部内に渦電流を誘起し、排尿を司る筋や神経を刺激し、生体が本来持つ機能を回復させるものである。しかしながらkAオーダーの電流をコイルに流し、強磁場を発生させる必要があり、冷却装置を含めると装置の大型化が避けられないため、現在まで医療現場などではあまり使われない。また、電気刺激式のような刺激プロトコルの決定など、磁気刺激尿失禁治療装置の普及には多くの課題がある。しかし、より高効率化が達成できれば、装置が

小型となり医療現場での普及が期待できる。体表面電極による電気刺激は、特に皮膚に多く存在する痛覚も刺激してしまい痛みを伴うが、一方で磁気刺激は生体内に渦電流を誘起し刺激するため、電気刺激に比べ痛みが少なく侵襲度は低く、今後の利用拡大が多いに期待される技術である。

4. 2 磁気刺激による筋疲労回復効果

磁気刺激は、脳神経疾患の検査・診断などに利用されるばかりではなく、リハビリテーションや運動生理学の分野でも広く用いられ、研究されている。特に、運動生理学において、経頭蓋磁気刺激法を用いた筋疲労における中枢神経系の変化に関する研究も盛んである。湯ノ口等は、ヒトの前腕に随意収縮により局部的な筋疲労を意識的に作り出し、局所筋疲労に対するパルス磁気刺激効果について検討を行っている^[9]。その機序は未だ不明な点が多いが、刺激閾値以下と考えられる0.1 T程度の磁場でも、筋疲労の緩和があったことを報告している。さらに、塗木等は、パルス磁気刺激の有効性を、低カリウム血症と正常のラットのヒラメ筋と長指伸筋から誘発電位を記録し、パルス磁気刺激の筋疲労回復の効果を検討している^[10]。ラットに対して、3分間の電気刺激を行い筋疲労を誘発させ、その後にパルス磁気刺激を2分毎に30秒間与えたところ、筋疲労の度合いを示す誘発電位の回復曲線がパルス磁気刺激を与えた場合に、僅かに回復が促進されることを明らかにしている。今後も検討が進み、磁気刺激による筋疲労回復のメカニズムが明らかになれば、商品化も進むと考えられる。

4. 3 TMSの精神疾患治療への応用

8字型コイルの登場により数mm程度の分解能で局所的な神経刺激が可能となったことで、TMS（経頭蓋磁気刺激法）の技術は概ね確立されたと言っても過言ではない。そして、現在では研究者の関心は、TMSを用いた精神疾患治療への応用や、脳機能の解明のための強力なツールに集中している。

TMSによる偏頭痛の改善の試みも行われているので紹介したいと思う^[11]。偏頭痛に苦しむ201名の患者に対して、102名のTMSによるActive刺激と、99名の実際には刺激を行わないSham刺激を試み、偏頭痛に対する刺激効果の比較を行った。Active 刺激を行った群のうち39%において刺激後2時間に頭痛の改善が観られたと報告した。TMSによる治療法は、現状の治療方法と同等な効果が統計的、臨床的に認められ、副作用や有害事象が顕著に減少することが明らかとなった。このうち、29%の患者で24時間、27%の患者で48時間の無痛状態が確認されたことが報告されている。

また近年、TMSを利用した新たな試みとしてうつ病の治療に使用されている。3-20 Hz のrTMSを大脳の左前頭葉に与えた場合、うつ病が改善する傾向があったことが報告されている。従来、頭表に装着した電極から経頭蓋的に脳に電流を流す電気痙攣療法(ECT)が、難治性のうつ病に対して高い効果があることが知られていた。rTMSやECTによる治療法は、効果が報告されているだけで、どのようなメカニズムで効果が出ているのかについて、明らかになっていない点が多い。rTMSは、ECTと同等な効果が期待できるため、ECTの代替的な

治療法としての利用が期待される。TMSでは、単発のパルスにより頭上部、両側前頭葉を刺激したものが多かったが、rTMSでは、左前頭前野背外側部を刺激部位とする場合が多い。

4. 4 運動機能のリハビリテーション

TMSは、脳卒中などにより生じた運動機能障害がある場合に、脳の可塑性を利用したりハビリテーション等の目的で利用される場合がある。本稿では、TMSを脳神経の興奮特性の変化を測る手段として利用した研究事例として、運動イメージとmirror therapyにおける大脳皮質運動野の皮質興奮特性の変化をTMSで探索した結果を紹介したい。

スポーツ選手は、自らの運動している様子を脳内でイメージして訓練する所謂イメージトレーニングを頻繁に取り入れる。近年、実際には運動していないても、脳の運動生成に関連する部位が活動していることが明らかになり、イメージトレーニングの重要性が科学的にも明らかにされつつある。運動とは関係なく脳が活動している事実は、非常に興味深く、磁気刺激と組み合わせることで肢体不自由な方に対するリハビリテーション手法の一つとなり得ると考えられる。近年、運動イメージ中に第一次運動野をTMSで刺激すると、末梢の筋で計測される運動誘発電位(MEP: motor evoked potential)の振幅が増大することが報告されている^[10]。すなわち、実際に運動を行っていないても、運動イメージを想起している間には、脳の運動に関連する部位の興奮性が変化していることが実験的に示された。

運動イメージと似た脳内現象を用いたリハビリテーション手法として、mirror therapyが存在する。mirror therapyとは、脳卒中上肢片麻痺患者の非麻痺側の動作を、鏡を用いて麻痺側に映することで、麻痺側があたかも動いているかのような錯覚を与える訓練法である。一次運動野の興奮特性は、同側の運動と反対側の四肢の運動の受動的な観察の両方で変化する。施術中の脳内の興奮活動を一次運動野のTMSにより、運動を行っていない同側のMEPが顕著に増加することも報告されている^[8]。図6に、mirror therapyの様子を示した。患者に対し麻痺

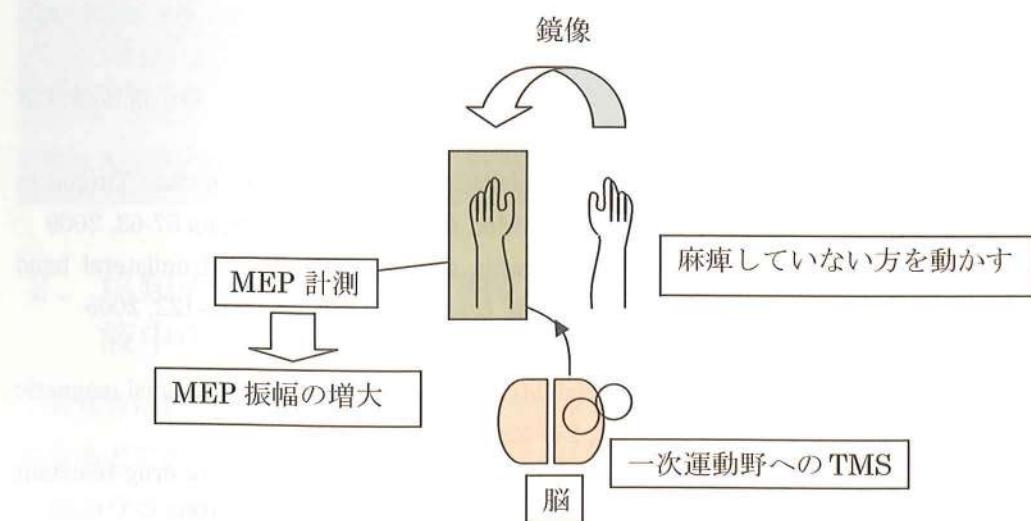


図6 片麻痺患者におけるmirror therapy

していない方の腕を動かすように指示する。その動作が、他方の腕の上部に表示させた場合に、運動していない方の腕とは対側の一次運動野に対してTMSを行いMEPを計測する。麻痺していない方の腕の運動の有無で、MEPの振幅が異なることが明らかとなっている。この結果は、実際には運動していない腕にも関わらず、脳内の興奮特性が変化していることを示唆している。Mirror therapyは、その機序こそ不明な点が多いが、リハビリテーションの効果を高めることが示唆されている。現状では、脳の状態を知るためにTMSを利用しているに過ぎないが、TMSをリハビリテーションに取り入れることにより脳卒中後の四肢麻痺のリハビリテーション効果の向上が期待できる。

4. まとめ

本稿では、磁気刺激の臨床用途と、応用について具体例を挙げ説明した。磁気刺激の最大の利点は、非侵襲的に生体組織を刺激できることである。現在では磁気刺激は脳研究には欠かせない存在となっているが、今後もリハビリテーション等への応用技術が提案できると考えられる。

謝辞：最後に、私のような若輩者に、執筆の機会を与えてくださった財団法人 磁気健康科学財団の方々に感謝の意を表したいと思います。

5. 参考文献

- [1] Barker AJ et al.: Non-invasive stimulation of human motor cortex. Lancet II: 1106-1107, 1985
- [2] 真野行生、辻貞俊: 磁気刺激法の基礎と応用、医歯薬出版株式会社、2005
- [3] Odagaki et al.: 電気刺激式および磁気刺激式尿失禁治療における刺激効率－三次元下腹部コンピュータシミュレーションによる評価－、生体医工学、Vol. 41, No. 3, 27-34, 2003
- [4] Ueno S et al.: Localized stimulation of neural tissues in the brain by means of a paired configuration of time-varying magnetic fields, J. Appl. Phys., 64, 5862-5864, 1988
- [5] Ishikawa N.: Development of a non-invasive treatment system for urinary incontinence using a functional continuous magnetic stimulator (FCMS), Med Biol Eng Comput, Vol. 36, No. 6, 704-710, 1998
- [6] 中島、湯ノ口 他: パルス磁気刺激法を用いた局所筋疲労回復効果の検討、電子情報通信学会技術研究報告、Vol. 103, 33-36, 2004
- [7] Nuruki et al, Application of pulsed magnetic stimulation for recovery from muscle fatigue in hypokalemic and normal Wistar rats, Trans Jpn Soc Med Biol Eng, Vol. 47(1), pp 57-63, 2009
- [8] Garry M.I. et al.: Mirror, mirror on the wall: viewing a mirror reflection of unilateral hand movements facilitates ipsilateral M1 excitability, Exp. Brain Res., Vol. 263, 118-122, 2005
- [9] Neuralieve社webサイト : <http://www.neuralieve.com>
- [10] Cicinelli P et al.: Imagery-induced cortical excitability changes in stroke: a transcranial magnetic stimulation study, Cereb. Cortex. Vol.16, No.2, 247-253, 2005
- [11] Hoflich G et al.: Application of transcranial magnetic stimulation in treatment of drug-resistant major depression, A report of two cases, Hum. Psychopharmacol, 8, 361-365, 1993

3. 魚類のウロコを用いた骨代謝評価系の開発と磁場研究への応用

金沢大学 環日本海域環境研究センター

鈴木 信雄

1. はじめに（魚もヒトの医療や治療に貢献している）

魚は私たちの食生活に欠かせないものです。魚の研究と言えば、養殖に関する研究を思い浮かべる方が多いと思いますが、実は魚は、ヒトの医療や治療にも役立っているのです。

飽食の時代といわれる中で、生活習慣病にかかる割合が年々高くなっています。高齢社会を迎え、誰もが健康長寿を願うところですが、中でも骨粗鬆症（こつそしょうじょう）は、特に女性にとって深刻な問題です。

この病気は、骨を作る細胞（骨芽細胞）と骨を壊す細胞（破骨細胞）のバランスが崩れることによって、結果的に壊す細胞の方が勝り、骨が大根に鬆（す）（細かい無数の穴）が入ったような状態になります。この病気の治療には、サケやウナギのホルモン（カルシトニン）が使用されています。これら魚のホルモンは、ヒトのホルモンよりもヒトの破骨細胞の活性を抑える働きが強いので、ヨーロッパやアメリカを始めとして、魚のカルシトニンを用いた治療薬が各国で認められています。日本でもウナギのカルシトニン製剤が開発され、現在も市販されています。



図1 キンギョ (*Carassius auratus L.*) 及びそのウロコ

しかし、ヒトの破骨細胞の活性を強力に抑制する作用をもつ魚のホルモンは、魚にどのように作用するのか、解明されていません。なぜなら、魚におけるホルモンの作用を調べる評価システムがなかったからです。そこで私は、魚におけるカルシトニンの働きを調べるために、ウロコ（図1参照）を用いた、新しい測定系を開発しました。

2. 魚類のカルシウム代謝の特徴（魚は背骨ではなく、ウロコで血液中のカルシウム濃度を調節している）

脊椎骨は魚にとって、遊泳に重要な役割を果たしています。魚は、背骨が折れると泳げなくなるどころか、もともと遊泳することで呼吸をしている魚は死に至ることになります。

魚のウロコには破骨細胞と骨芽細胞とが共存しており（図2参照）、魚は脊椎骨ではなくウロコからカルシウムを出し入れして血液中のカルシウム濃度を調節しているのです。例えば、サケのメスは海から川に遡上する時に、ウロコの破骨細胞が活性化してウロコからカルシウム

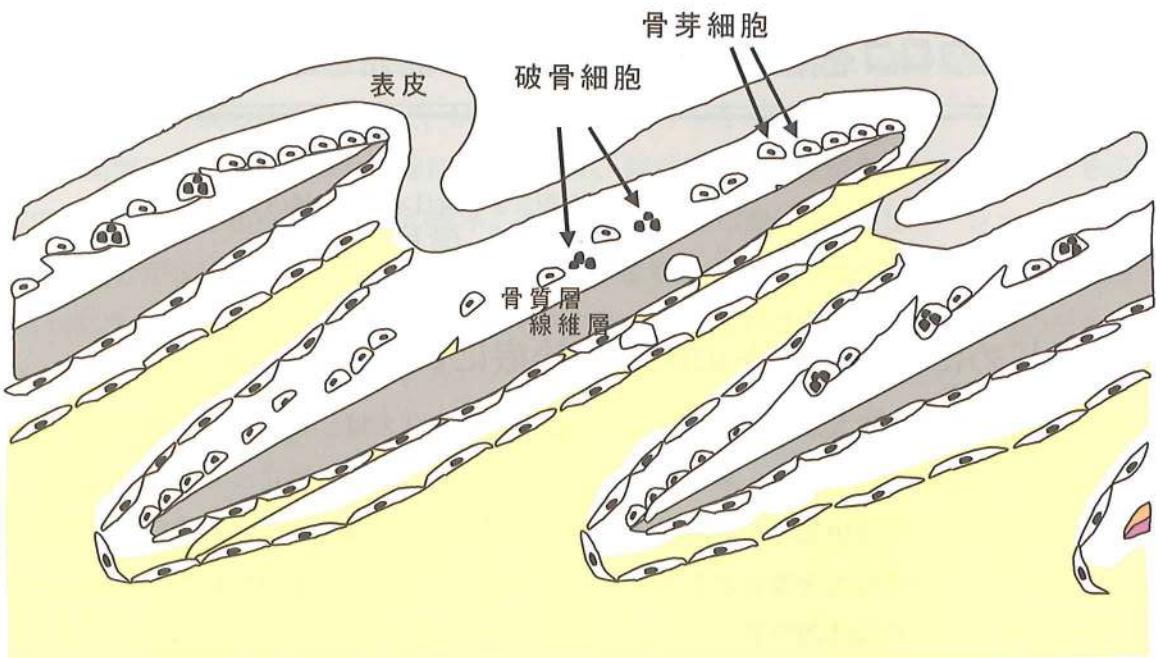


図2 魚のウロコの模式図

魚のウロコは、石灰化した骨基質の上に骨芽細胞と破骨細胞が共存し、ヒトの骨と同じように骨代謝を行っている。

ムが溶出するためにウロコが小さくなります。そのウロコから溶け出したカルシウムは、卵黄タンパク質と結合して卵に入ります。ウロコのカルシウムもヒトの骨と同じハイドロキシアパタイトの形で存在しています。つまり、魚のウロコはヒトの骨を薄く輪切りにしたものであり、ヒトの骨のモデルとしても使用できる可能性があるということになります。

3. ウロコを用いた骨代謝評価システムの開発（ウロコを骨のモデルとして骨に対するホルモンの作用を解析できる）

魚のウロコを用いた評価システムについて、以下に示します。

- 1) 簡単にウロコを抜き取ることができます。抜去したウロコを培地の中に入れて培養するのみという簡便性に優れている。ホルモン等の薬物効果を調べる際にも、その培地に添加するだけである。
- 2) 破骨細胞や骨芽細胞はウロコの表面に存在することから、そのまま培養に用いることができる。コラゲナーゼ等の処理による細胞の調整が不要であり、細胞の状態は常に極めて良い。ウロコは、骨の器官培養であると考えてよい。
- 3) 培養には血清が不要であり、低コストである。炭酸ガスも不要である。
- 4) キンギョの場合、1個体からほぼ同じ細胞活性をもつウロコが約100枚とれ、同時に様々な条件で検討できる。また、ラットやマウスに比べてキンギョは実験材料として格段に安価である。
- 5) 6時間程度の培養で結果が得られ、迅速に解析できる。
- 6) ウロコ1枚でも破骨細胞や骨芽細胞の活性測定が可能である。培養実験後のウロコをマイ



図3 ピンセットを用いて、キンギョのウロコを96穴のマイクロプレートに移している様子

クロプレート(96穴)に1枚ずつ入れ(図3参照)、破骨細胞の場合は酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ(TRAP)、骨芽細胞の場合はアルカリリフォスファターゼ(ALP)を指標として、容易にそれぞれの酵素活性をプレートリーダーで測定することができる。

私はこの評価システムを用いて、①魚のカルシトニンがウロコの破骨細胞の活性を抑制することを実証しました。また、②松果体から分泌され、睡眠等の体内リズムの調節に関係しているメラトニンが破骨細胞や骨芽細胞に対して抑制的に作用

用することも、脊椎動物を通して初めて明らかにしました。さらに、③この測定系によって、カルシウム代謝に関与しているホルモン(副甲状腺ホルモン、インスリン様成長因子-I、インターロイキン1、活性型ビタミンD₃)の作用を調べた結果、哺乳類で知られている作用と一致したため、ヒトへの応用が可能であることを突き止めました。

4. 磁場による骨形成機構の解析(骨を壊す細胞は、磁場の強度により異なった応答をする)

次に私は、磁場に対する応答もウロコの評価システムを用いて解析できるのではないかと考えました。骨組織には、コラーゲン等の骨基質タンパク質が存在し、特に磁場や重力等の物理的な刺激には骨基質が重要な役割を果たしています。骨基質を含むin vitro(試験管内)の培養は非常に難しく、未だ開発されておりません。ウロコは、石灰化した骨基質の上に骨芽細胞と破骨細胞が共存(図2参照)していることから、ウロコの評価システムは骨基質を含む骨芽細胞と破骨細胞の共存培養になり、磁場という物理的な刺激の骨に対する作用を生

体内に近い状態で調べることができます。

一方、磁場による骨形成に及ぼす影響は、これまで主にパルス磁場を用いて調べられてきました。

しかしながら、パルス磁場では様々な周波数が混在しており、どの周波数が骨形成に効果があるかは不明です。さらに、その機構は不明な点が

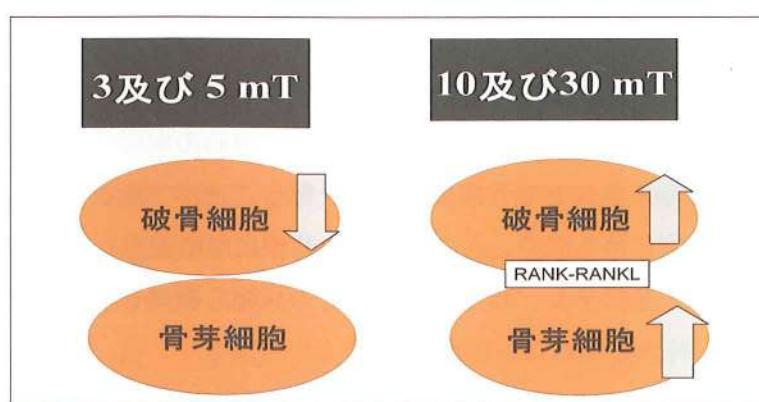


図4 磁場の破骨細胞及び骨芽細胞に対する作用
(in vitro試験管内)

多いという現状です。そこで私は、家庭用の60Hzの極低周波磁場に対する作用をウロコの評価システムを用いて調べました。

その結果、特に破骨細胞の応答は、磁場の強度により異なっていることが判明いたしました（図4参照）。その詳細を以下に説明します。

3mTの磁場で24時間曝露すると、ウロコの破骨細胞の活性が有意に低下しました。しかし、ウロコの骨芽細胞の活性は変化しませんでした。したがって3mTの磁場刺激では、破骨細胞のみが応答し、破骨細胞の活性が低下することがわかりました。5mTの場合でも3mTと同様な変化がみられ、骨芽細胞の活性は変化せず、破骨細胞の活性のみが低下しました。しかし磁場の強度を上げ、10及び30mTにおいては、骨芽細胞の活性が上昇し、それに伴い破骨細胞の活性も上昇していることがわかりました。

哺乳類で知られている知見から判断するとReceptor Activator of NF- κ B Ligand (RANKL)とReceptor Activator of NF- κ B (RANK)の経路が関係していると推測されます。すなわち、骨芽細胞と破骨細胞は密接に連絡しており、骨芽細胞で発現しているリガンドであるRANKLと破骨細胞にあるレセプターであるRANKが結合することにより、破骨細胞が活性化し、多核の活性型の破骨細胞に分化することが知られています。したがって、10及び30mTで24時間曝露することで骨芽細胞が活性化し、RANK-RANKLを通して破骨細胞も活性化された可能性が高いと考えられます。

私たちの研究グループは、哺乳類以外で初めてキンギョのRANKとRANKLの両方の構造決定に成功しました。現在、RANKとRANKLの遺伝子レベルでの解析を行っている最中です。

5. おわりに（ウロコは磁場を用いた骨の治療にも貢献できる可能性がある）

これまで磁場の骨に対する作用は、骨芽細胞の株化した細胞を用いて行ってきました。破骨細胞の研究はこれまであまり行われていませんでしたが、このように磁場の強度の違いによって破骨細胞の応答が異なっていることが、ウロコという骨のモデルを用いて初めて明らかになりました。強度の違う磁場を組み合わせることで、これまでとは違う新規な治療機器の開発に結びつく可能性が考えられます。つまり、単に骨形成を促進するということではなく、「骨吸収を抑制する機器の開発」にもつながるということです。

骨粗鬆症等の骨疾患に対する治療薬を開発するために、卵巣を除去して骨が折れやすくしたラットを用いて、多くの時間を割き、多額の費用を投資して開発しているのが現状です。しかし、磁場のような物理的な刺激を与えることで骨疾患の治療を行うことができれば、高価な薬を購入する必要もなく、さらに副作用もなく、とても適した治療になると思われます。

今後は、磁場のウロコに対する作用を遺伝子レベルでも調べ、その詳細な機構を解明していきたいと考えております。

磁気健康科学研究振興財団からの研究助成金の授与（平成21年3月）

- ・伊藤 彰 九州大学大学院 工学研究院 化学工学部門 准教授
 磁力を用いた再生医療技術の開発
- ・宮崎敏樹 九州工業大学大学院 生命工学研究科 生体機能専攻 准教授
 がん温熱治療に適した強磁性セラミックマイクロカプセルの調整と評価
- ・平山 順 東京医科歯科大学 難治疾患研究所 MTTプログラム 特任教授
 磁場が概日リズムに与える影響
- ・神崎 晶 慶應義塾大学 医学部 耳鼻咽喉科 助教
 超磁歪素子を用いた埋め込み型骨導補聴器の開発
- ・向 洋平 大阪大学大学院 薬学研究科 助教
 MRI酸化鉄造影剤の質的向上を目指した腫瘍標的化磁性ナノ粒子の開発研究
- ・緒方勝也 九州大学大学院 医学研究院 臨床神経生理 助教
 表面筋電図によるPSTHを用いた、小脳刺激の脊髄前角細胞に対する影響評価
- ・梁 楠 広島大学大学院 保健学研究科 助教
 経頭蓋磁気刺激を用いた運動イメージ・運動観察の中枢メカニズムの解明とりハビリテーション科学への応用

第24回日本生体磁気学会大会への研究奨励賞(金沢賞)の授与（平成21年7月）

- ・Chia-Hsiung Cheng
 Institute of Brain Science, National Yang-Ming University, Taipei, Taiwan, Department of Medical Research and Education, Taipei Veterans General Hospital, Taiwan, Particular Sensitivity of Human Auditory Cortices to Short Tones
- ・菅野彰剛 広南病院
 聽性定常状態誘発磁界反応を用いた遷延性意識障害者における聽覚残存機能評価
- ・岩木 直 産業技術総合研究所,マサチューセッツ総合病院
 事象関連脳磁界反応と自発脳活動の変化で見る3次元知覚の脳機能ネットワーク
- ・池澤浩二 大阪大学大学院医学系研究科精神医学教室
 統合失調症の安静閉眼時における律動脳磁場活動変化の検討
- ・坂本貴和子 自然科学研究機構生理学研究所,日本大学大学院総合科学研究所
 ヒト舌体性感覚処理機構の検討
- ・加藤愛章 筑波大学大学院人間総合科学研究科疾患制御医学専攻小児内科
 胎児心磁図によるelectrical PR intervalとドプラ心エコー法によるmechanical PR interval の比較
- ・宇野 裕 東京大学大学院 新領域創成科学研究科
 情報量基準に基づく最適モデルを用いたカルマンフィルタのノイズ除去性能の評価

〈財団の事業内容〉

本財団は、磁気を用いて健康の維持及び増進を図る科学（以下「磁気健康科学」という）に関する基礎及び応用研究に対する助成、技術動向等の調査及び研究に対する助成、情報の収集及び提供等を行うことにより、磁気健康科学の発展を推進し、もって豊かな国民生活の実現と我が国経済社会の発展に寄与することを目的としています。

その目的を達成するため、次の事業を行っています。

- (1) 磁気健康科学に関する基礎及び応用研究に対する助成
- (2) 磁気健康科学に関する技術動向等の調査及び研究に対する助成
- (3) 磁気健康科学に関する情報の収集及び提供
- (4) 磁気健康科学に関する普及及び啓発
- (5) 前各号に掲げるもののほか、本財団の目的を達成するために必要な事業

（設立：平成6年5月20日）

磁気と健康 ～会報 第22号～

平成21年9月吉日 発行

発行所：財団法人 磁気健康科学研究振興財団
〒108-0074 東京都港区高輪1-4-26-617
Tel/ 03-5475-6951 Fax/ 03-5475-6952
E-mail/ zai@maghealth.or.jp
<http://www.maghealth.or.jp/>

編集・発行責任者：齋藤 正男

