

高周波電磁波曝露による
脳高次機能への生物学的影響評価
研究報告書

< 平成 1 2 年度 >

1. はじめに

高周波 (800-2000 MHz) 電磁波を使用する携帯電話は近年目覚しく広く普及してきている (図 1: 総務省ホームページより掲載)。それにともない, 携帯電話から発せられる電磁波が, 遺伝子・がん・免疫系・神経系などへの影響に関する社会的懸念が生じている。その中には記憶や学習といった脳高次機能へ与える影響への懸念が含まれる。米国からは, 高周波電磁波曝露がマウスやラットの学習機能に影響を及ぼすという報告がなされた[1, 2]。また, その報告を否定するものとして, イギリスからは携帯電話から発生される電磁波の曝露はマウスの作業記憶に影響を与えないという報告[3]が, ドイツからは胎生期のマウスに電磁波を曝露させても, オペラント学習に影響を与えないという報告[4]がなされた。

本研究においては, T字型迷路を用い, ラットに迷路課題学習させ, そのラット脳に電磁波を曝露させることにより, 携帯電話から発生される高周波電磁波の曝露がラットの学習および記憶に与える影響を検討した。

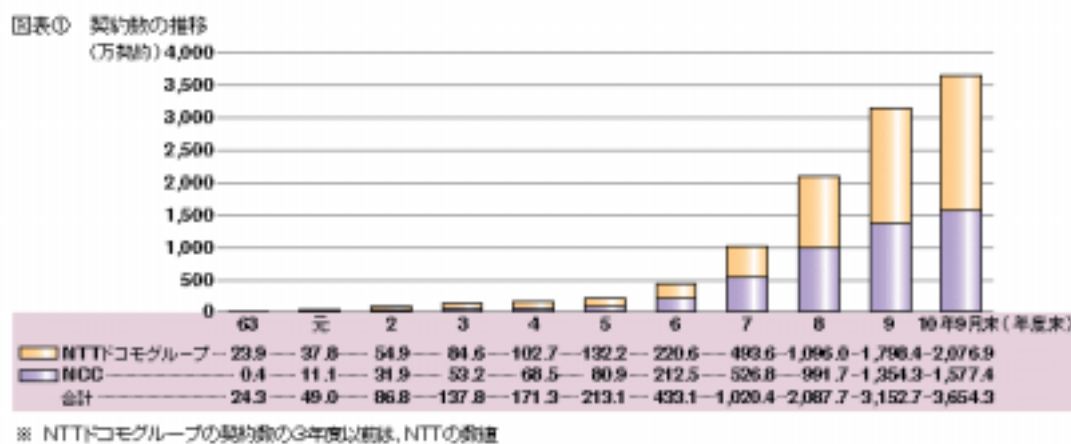


図 1. 携帯電話契約数の推移

2. T字型迷路による学習記憶評価方法の確立

a) ラット

ラットは S.D.(Sprague-Dawley)雄ラットを用いた。このラットを用いた理由は、全身曝露量に比し、脳曝露量ができるだけ大きくなるように、大型のラットであることが望ましいため、そして、性質がおとなしく迷路学習に際し扱いやすいためである。他の種に比べて大型のラットであるが、さらに 30 週齢以上のラットを用いた。また、学習記憶を評価する対象として S.D.ラットは多くの研究で実際に用いられてきたため、学習及び記憶能力に問題がないものと判断した。

b) 迷路課題学習の検討

i) 学習

学習は「経験による行動の比較的永続的な変容」“the alteration of behavior as a result of individual experience”として定義され、この学習の結果として記憶が生じる。

ii) オペラント条件付け

学習の基本的な理論としてオペラント条件付けがある。これは、「個体に好ましい事象を結果として生み出せば繰り返し行われる傾向がある。動物の生存は報酬をもたらす行動を行うことに依存している」ことである。

iii) 迷路学習

ラット迷路学習にこの理論をあてはめると、ラットにとって「報酬」とは餌であり、「報酬をもたらす行動」とは迷路内の餌の位置まで到達し餌を摂取することである。餌を摂取するという好ましい事象を結果として生み出せば、迷路内の餌に到達するという行為は繰り返し行われることとなる。この繰り返し行われる経験により、ラットにおいて、迷路内を目的無く移動するという行動が、餌を求めて餌のある地点を目指して移動するという行動に長期間にわたって変容することとなる。すなわち、迷路学習とは、オペラント条件付けという学習理論に基づいた「学習」であり、その結果として餌の位置を「記憶」することに他ならない。

c) 記憶

記憶は短期間のみ保持される短期記憶（作業記憶）と長期間にわたり保持される長期記憶（参照記憶）に分類される。我々は今回、長期記憶（参照記憶）に焦点を当て、これに対する電磁波曝露の影響を調査した。

i) 短期記憶（作業記憶）

限られた期間に働く活動的なプロセスであり、数秒から数分の時間単位とされる。五感からあらゆる情報が脳内に流入し、直後記憶となるが、その中から選択された情報がいったん短期記憶に保持される。海馬は短期記憶と空間認識に関与しているとされ、海馬を損傷すると短期記憶が保持できなくなることが知られている。具体的には、電話をかけるときまでは覚えているが、電話をかけた後は記憶されない電話番号といったものがこれにあたる。短期記憶は、直前の記憶によって作業が行われるという意味から、作業記憶とほぼ同一のものとされる。

ii) 長期記憶（参照記憶）

神経系の構造的な変化で、樹状突起の分枝・シナプス間の連絡がその本質とされる。短期記憶の中で選択されたものが繰り返し記憶されることにより長期記憶に組み込まれる。短期記憶の場合の海馬の役割とは異なり、脳の一部が損傷を受けたために長期記憶が保持できなくなることではない。具体的には繰り返し電話をかけることにより覚えた自宅の電話番号といったものがこれにあたる。長期記憶は、この記憶を参照して行動がなされることから、参照記憶とほぼ同一のものとされる。

d) T字型迷路

T字型迷路はアクリル製で，本幹および左右のアームはそれぞれ長さ 90 cm 幅 15 cm 高さ 15 cm，スタートボックスと本幹はギロチン型ドアにより隔てた．左右アームの両端に給餌皿を置き，一方の皿に固形飼料数個を入れた（図 2 図 3）．ラットはスタートボックスからスタートし，左右アーム分岐部で左右どちらかのアームを選択する．

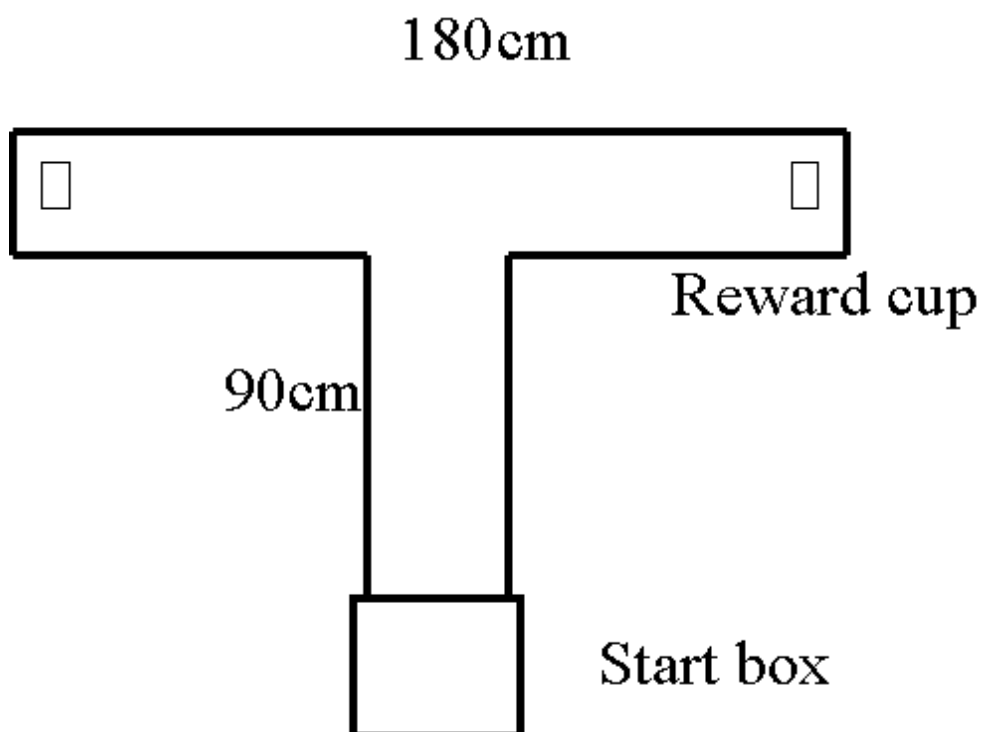


図 2 . T字型迷路模式図



图 3 . T 字型迷路

e) T 字型迷路課題学習

i) プレトレーニング

ラットに迷路課題学習を遂行させるにあたり，まずラットに迷路自体を慣れさせる必要がある．このため，トレーニングの前週に 4 日間をプレトレーニング期間を設けた．

プレトレーニング 1 日目・2 日目

T 字型迷路内の左右アームの部分に固形飼料を散乱させ，ラットを 2 匹ずつ，20 分間 T 字型迷路内を自由に走行させた．(図 4) に示す．

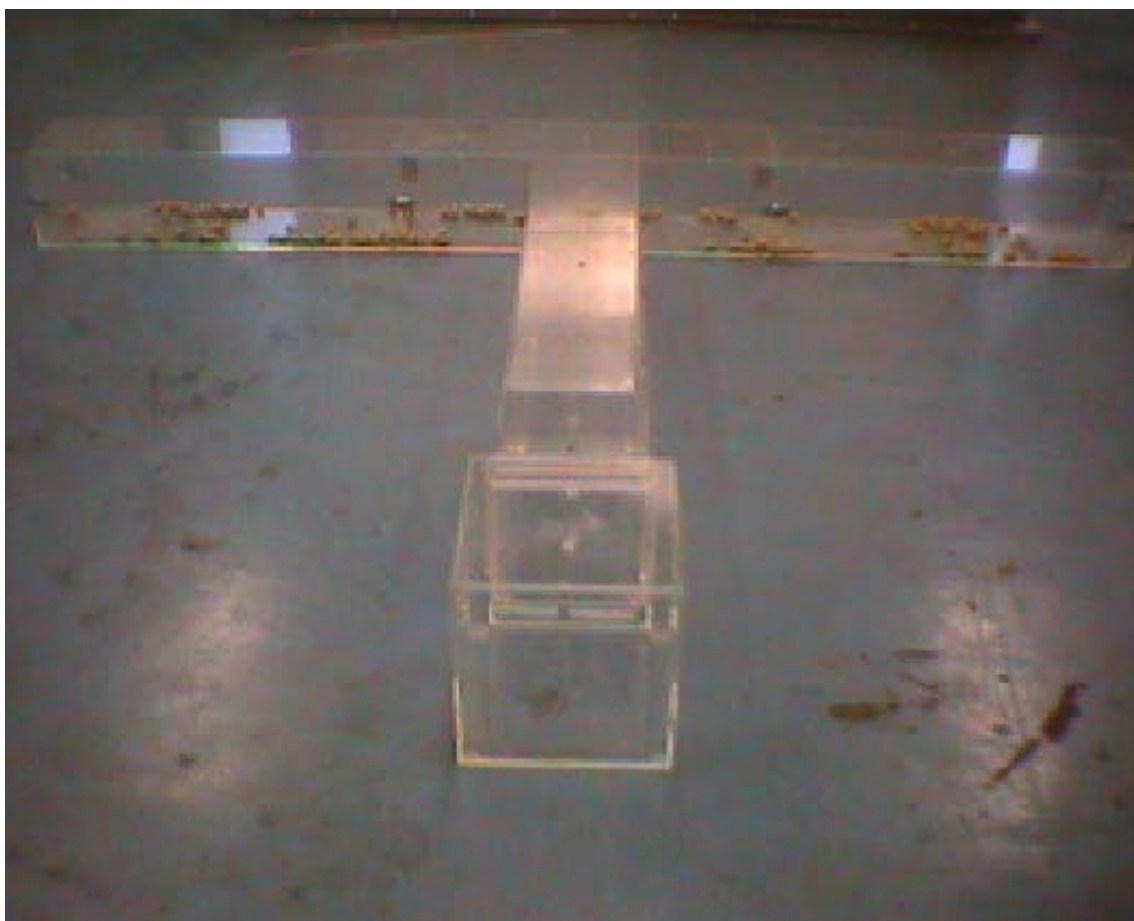


図 4 . プレトレーニング 1 日目・2 日目

プレトレーニング 3日目・4日目

T字型迷路内の左右アームの両端に設置した給餌皿に固形飼料をそれぞれ十個程度入れ,ラットを1匹ずつ,15分間T字型迷路内を自由に走行させた(図5)に示す.

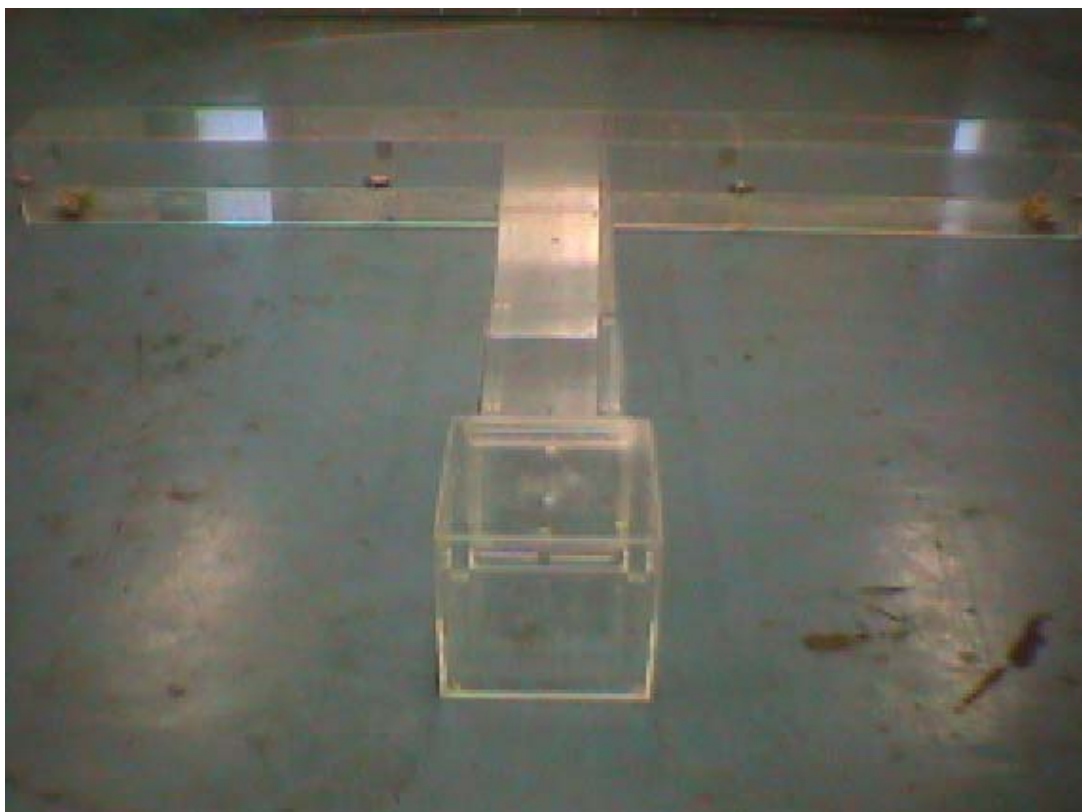


図 5 . プレトレーニング 3日目・4日目

ii) 体重制限

ラットに T 字型迷路学習を遂行させるにあたり，餌をオペラント条件付けにおける報酬とするためには，体重制限をして飢餓状態にする必要がある．体重制限を行わないラットに対しては餌は報酬とはなりえず，したがって T 字型迷路はオペラント条件付けにおける学習課題の対象とはなりえない．

体重制限の目標

ラットの体重制限と T 字型迷路課題学習達成率を評価した文献[5]のグラフを転載した（図 6）．

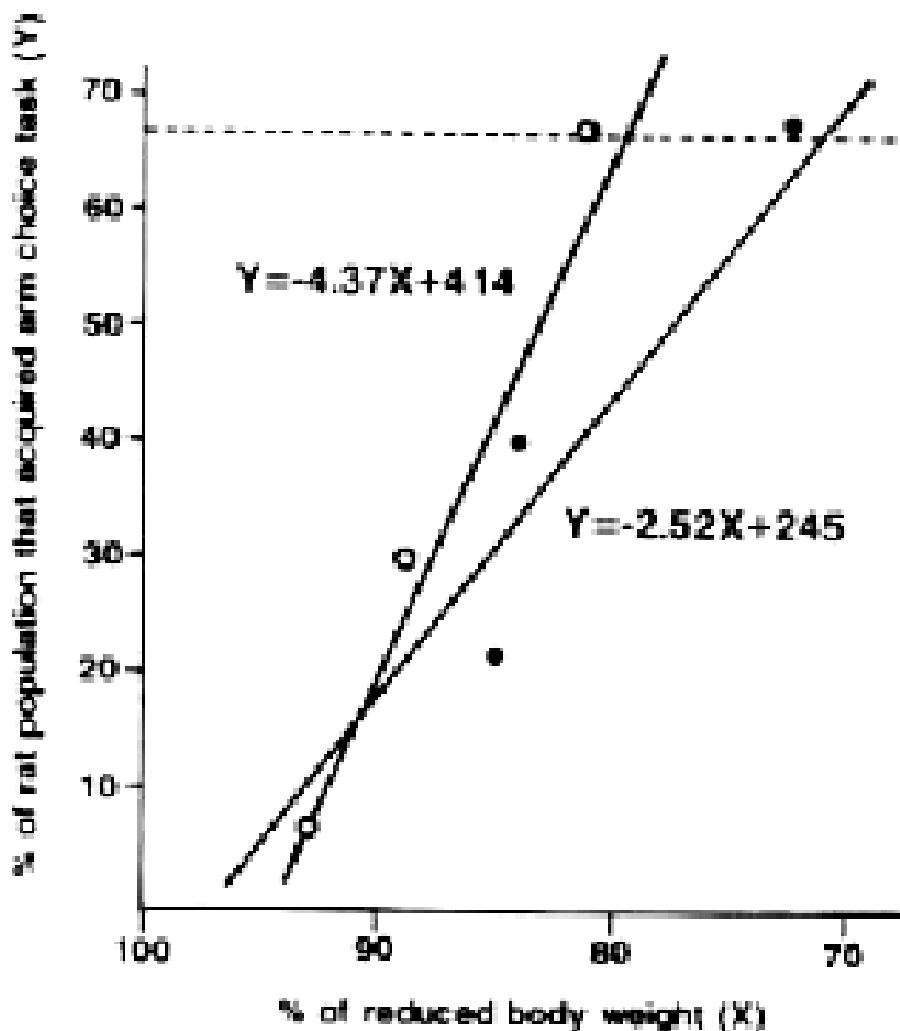


図 6 . ラット体重制限と課題学習達成率の関係

このグラフによると生後7ヶ月(印)は約80%の体重制限により2/3のラットが課題学習を達成している。それに対し生後24ヶ月(印)は約70%の体重制限により2/3のラットが課題学習を達成している。本研究に用いたラットは生後9ヶ月程度のものであるので、体重制限の目標を75%に設定した。

体重制限の実行

3匹のラットに1日15グラムの餌(ラット用固形飼料)を与え、1ヶ月間体重を測定した。この結果を(図7)に示す。また、3匹の体重の平均値の変化を示した結果を(図8)に示す。

この結果から、1日15グラムの食事制限により約1ヶ月で75%の体重制限が可能であることを確認した。したがって課題学習開始予定の1ヶ月前から食事制限をはじめることとした。

プレトレーニング期間からは食餌はT-maze内だけで摂取できるようにし、オペラント学習効果を高めた。

体重変化

以下の表1表2表3表4に用いたラットの体重を示す。

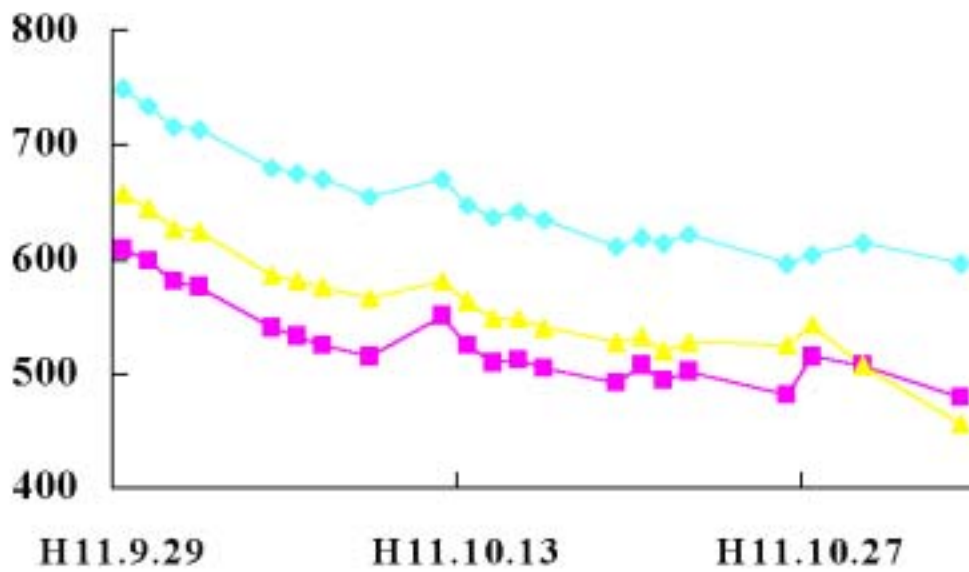


図 7 食餌制限によるラット体重変化

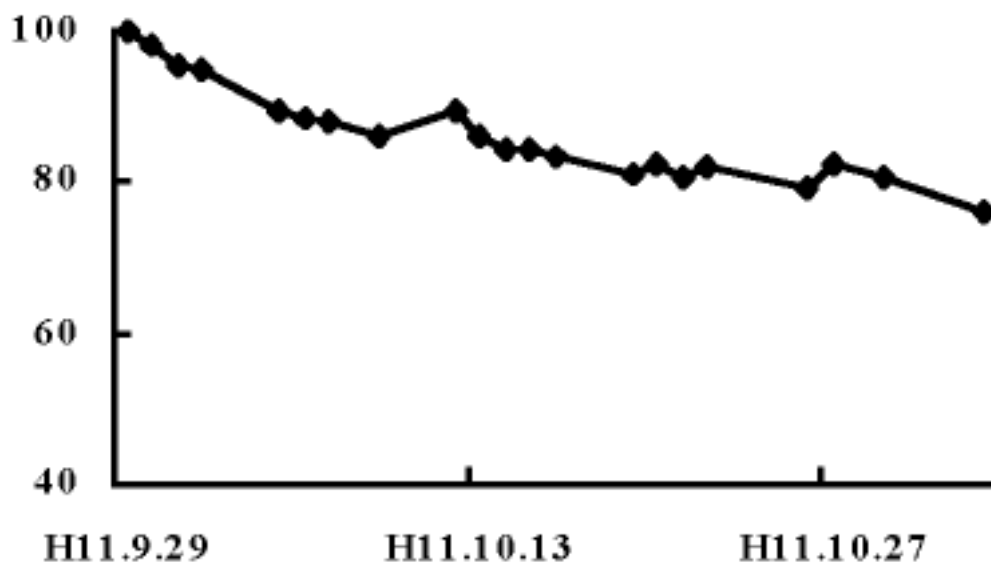


図 8 食餌制限によるラット体重変化(平均値)

表 1 ラット体重変化 (グラム)

曝露群(脳平均SAR 7.5 W/kg)			
ラット	食餌制限前	トレーニング前	テスト前
1	730	548	510
2	657	471	434
3	656	485	435
4	651	487	459
5	813	493	493
6	615	370	370
7	802	399	399
8	531	369	369
9	644	460	391
10	647	432	385
11	664	424	384
12	725	488	448
13	652	434	404
14	594	427	401
15	663	465	411
平均	669.60	450.13	419.53
標準偏差	73.17	48.99	42.89

表 2

偽曝露群			
ラット	食餌制限	トレーニング前	テスト前
1	715	457	456
2	687	509	471
3	766	490	448
4	651	471	429
5	692	461	400
6	595	433	365
7	723	453	408
8	742	476	434
9	762	476	431
10	808	522	493
11	760	460	418
12	830	483	430
13	689	417	375
14	742	542	496
15	581	442	410
16	605	434	407
平均	709.25	470.38	429.44
標準偏差	73.14	33.61	37.17

表 3

曝露群(脳平均SAR 25 W/kg)			
ラット	食餌制限前	トレーニング前	テスト前
1	658	408	385
2	580	350	343
3	738	512	435
4	835	596	497
5	644	493	463
6	654	488	456
7	602	516	461
8	627	503	464
9	626	450	415
10	614	449	390
11	616	422	378
12	619	451	413
13	597	455	404
14	890	600	553
平均	664.29	478.07	432.64
標準偏差	92.55	67.74	54.43

表 4

ケージ群			
ラット	食餌制限前	トレーニング前	テスト前
1	752	429	434
2	646	358	367
3	668	381	387
4	650	338	382
5	648	475	459
6	741	535	526
7	561	455	439
8	621	473	460
9	702	525	502
10	680	468	449
11	649	503	491
12	663	509	490
平均	665.08	454.08	448.83
標準偏差	51.20	65.12	50.26

f) T字型迷路課題学習を用いた記憶評価方法

T字型迷路課題学習を用いた記憶評価方法を調査した。短期記憶，長期記憶それぞれについて以下のようにまとめられる。我々が用いた方法は，以下に述べる2つの方法のうち，2)長期記憶（参照記憶）の評価方法である。

i) 短期記憶（作業記憶）の評価方法

左右交互に餌をおき，ラットを秒単位のインターバルで繰り返しスタートさせる。ラットが餌という報酬を得るためには数秒から数十秒前に経験した前回の餌の位置を記憶し，その位置と反対方向のアームを選択しなければならない。通常5回連続で餌のあるアームを選択したときに課題を終了し，その時点に到達するまでに要した試行回数をもって作業記憶の評価とする。

ii) 長期記憶（参照記憶）の評価方法

左右どちらかに餌を固定し，ラットを分単位のインターバルでスタートさせる。ラットが餌という報酬を得るためには左右どちらかの餌の位置を記憶し，そのアームを選択する必要がある。1日に10回から20回の迷路内を走行させ，餌のあるアームを選択したときを正解とする，通常80%程度の正解率をもって餌の位置を記憶したとみなす。何らかの侵襲を加えた後，同様の迷路学習をさせ，正解回数をもって参照記憶の評価とする。

g) T字型迷路課題学習による餌の位置の記憶

上記長期記憶評価方法を参考にして、以下のようにルールを設定してトレーニングをさせた。説明図を（図 9）にしめす。

1. 4 匹 1 グループとして 1 匹ずつスタートさせる
2. グループごとに左右どちらかに餌を固定する
3. グループが変わるごとに餌の位置を左右交互とする（一方に餌などの匂いが固定し、アーム選択に影響が生じないようにするため）
4. スタートボックスの後方に小型扇風機を設置し、T字型迷路内で空気の移動する方向をスタートボックスから給餌皿へとし、左右分岐部でラットが餌の臭いによりアームを選択することを防止する。
5. 左右のアームへの分岐部を後ろ足が越えた時点で、選択したとみなす
6. 餌のあるアームを選択した場合は 30 秒間餌を摂取させる
7. 餌のないアームを選択した場合はすぐに迷路から取り出す
8. 1 日 16 trial 施行する
9. 16 trial 中 14 回以上餌のあるアームを選択するまで最大 4 日間続ける
10. 迷路内の左右分岐まで行かずに動かなくなってしまったラットについては、数分を限度に迷路内から取り出し、この状態が数回以上続いた場合には、課題達成が困難と見なし、対象から除外する。

T字型迷路學習

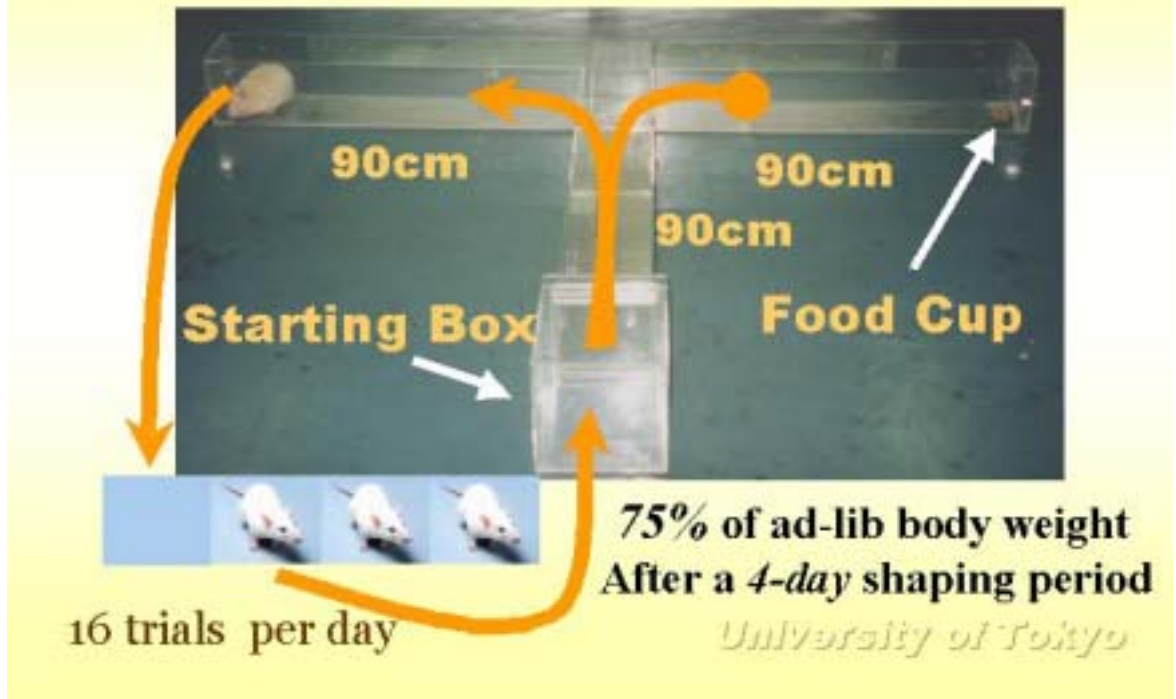


图 9 . T 字型迷路学习

h) T字型迷路課題学習による餌の位置の記憶：結果

予備実験として50匹のラットに課題学習をさせた。そのうち17匹はトレーニング中に迷路内で動かなくなったり、餌を全く食べようとしなかったために、実験より排除した。33匹は課題学習を達成したラットとして認めることができた。これは実験に用いた全体のラットの約2/3であり、前述したグラフ(図6)の結果に矛盾しない。1日16回のうち14回以上正解したものは餌の位置を記憶したものとみなし、それ以上の訓練は行わず、残りの訓練期間中は全て正解したアームを選択したものと見なした。この結果を図10に示す。

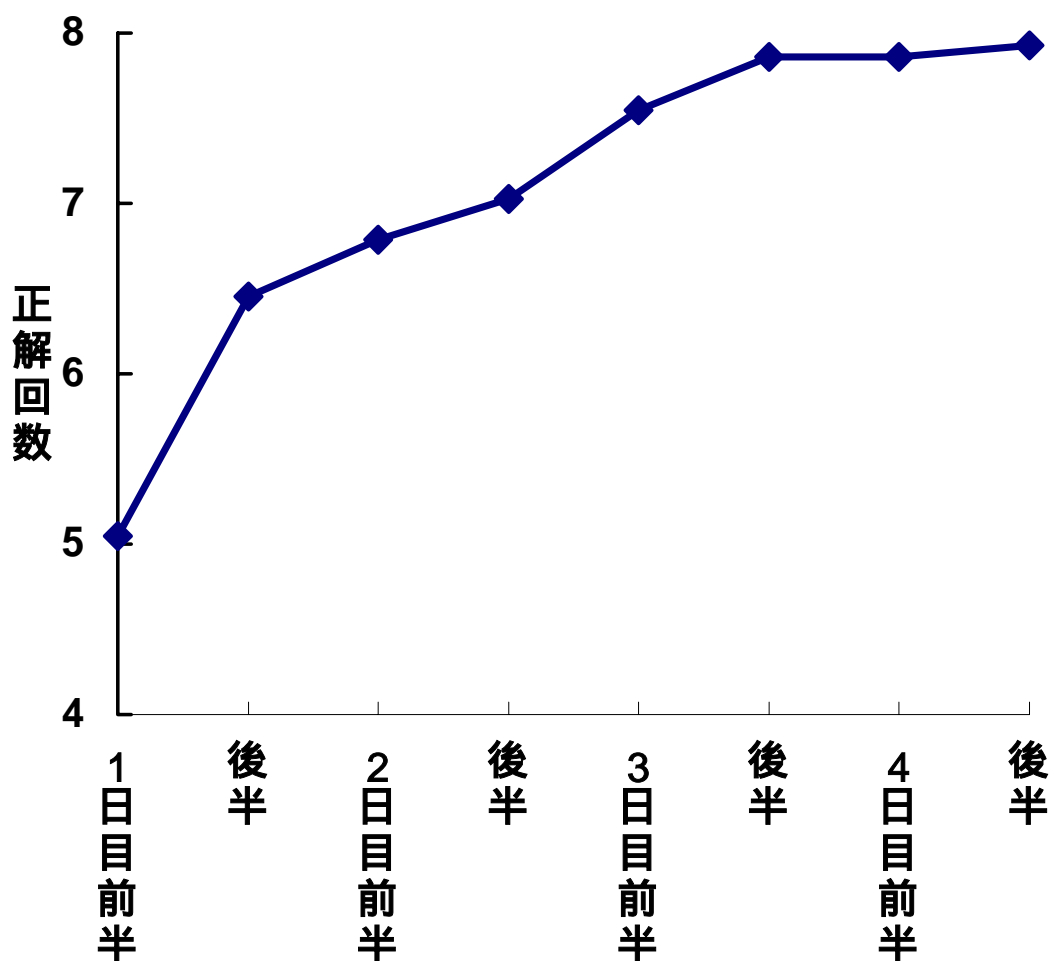


図 10 T字型迷路学習における正解回数の推移 (n=33)

3. 高周波電磁波曝露がラット脳高次機能に与える影響評価

a) ラット脳電磁波曝露装置

以下の装置を、ばく露実験用および偽ばく露用に計2台準備した。また、電波の外部への漏えいを防ぐため、シールドルーム内(図 11)で曝露実験を行った。

i) 構造

90×90×70 cm の小型電波暗室内(図 12)の電波発生アンテナの周りに、直径60 mm のアクリルの筒を8本放射状に設置し、各々のアクリルの筒にラットを固定する(図 13, 図 14)。(筒の先端は先細りになり、その先端からラットが鼻先をだせるようになっている。また、ラットの位置を固定するために、ラットの後方に仕切り板を設置。)ラットの体温上昇を防止し、かつ固定によるラットのストレスを低減させるために、ばく露装置の上部に取り付けたファンにより、空気を送風ダクトを通じてラットに通風する(図 15)。



図 11 実験室内シールドルーム



图 12 . 電磁波曝露箱



図 13 . ケース内のラット

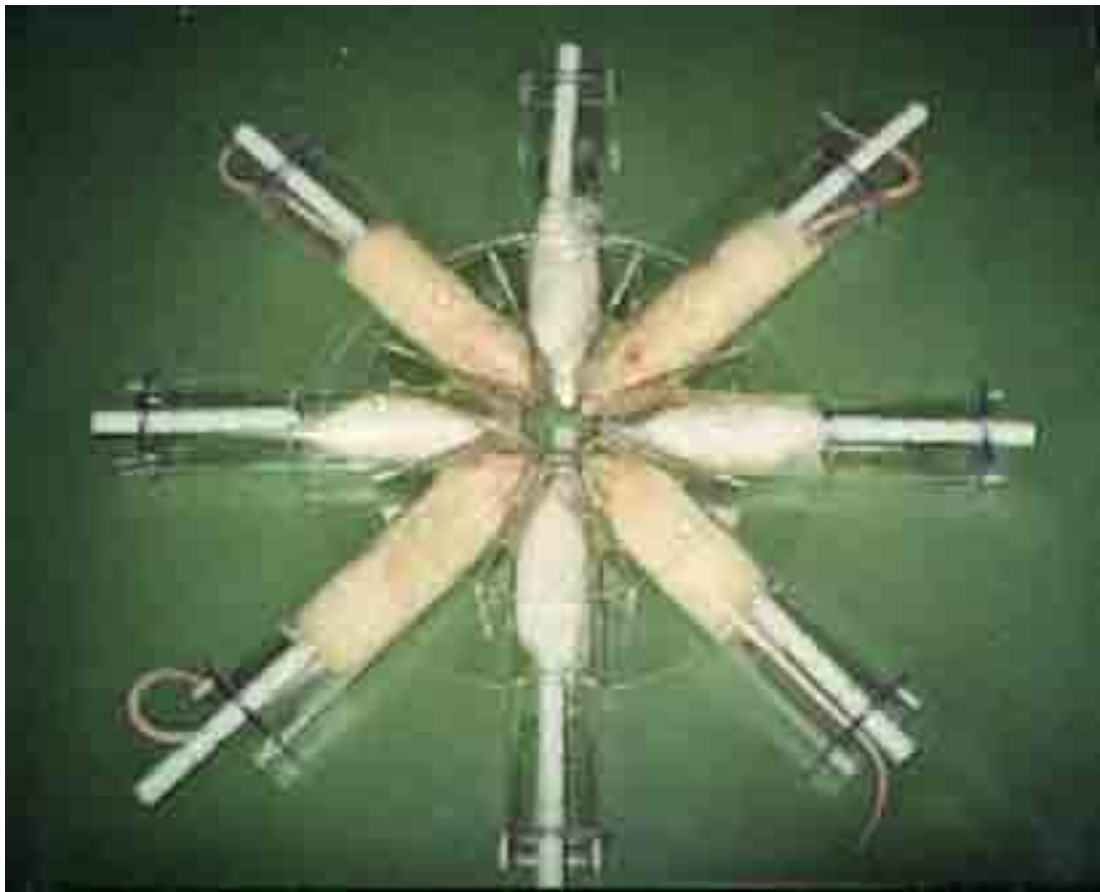


図 14 . 放射状に配置されたラット

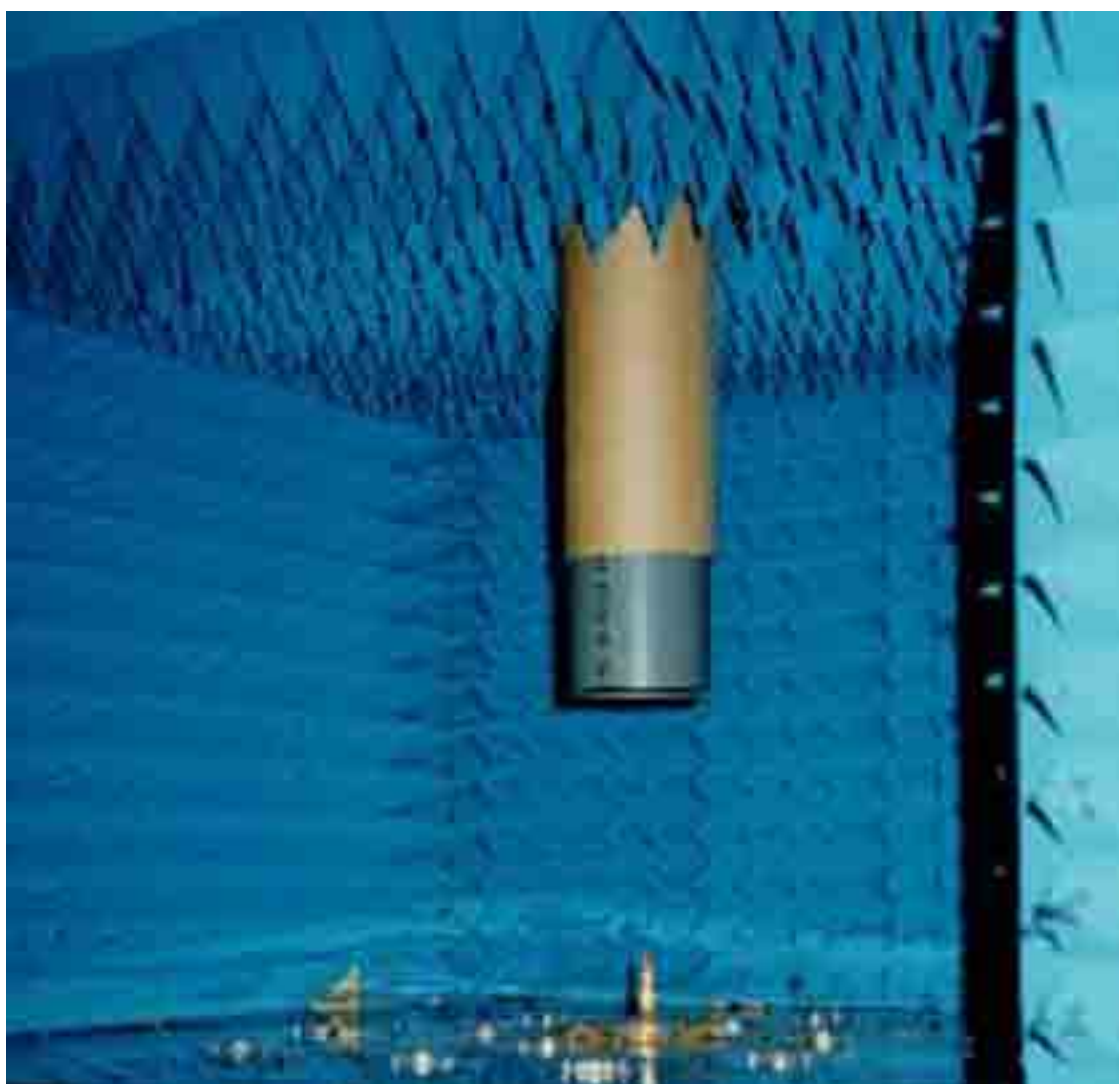


図 15 . 送風ダクトおよびモノポールアンテナ



図 16 . 曝露装置内のラット

ii) 曝露装置の改良点

ラットケースは 30 週齢以上の S.D.ラットを想定して造られていた .本研究では食餌制限により体重が減少し , 小型化しているために従来 of ケースでは空間的な余裕が生じ ,ラットがケース内でわずかながら移動する可能性がある(図 17).したがってラットケースサイズを従来 of 80%の大きさに作製した (図 18).この新しいケース内ではラットはほぼ完全に固定され (図 19), 脳への正確な曝露が可能となった .



図 17 . 旧ラットケース (ラット後部にペーパータオルがパック)



図 18 . 左 : 新ケース , 右 : 旧ケース



図 19 . 新ラットケース内のラット

iii) 電磁波周波数

TDMA 1,439 MHz PDC 方式（実際の携帯電話通信で使用されている周波数）を用いた。

iv) ドシメトリー

電磁波曝露によるドシメトリーは体重別に計測された（図 20）。これにより頭部・全身それぞれの SAR を求めた。

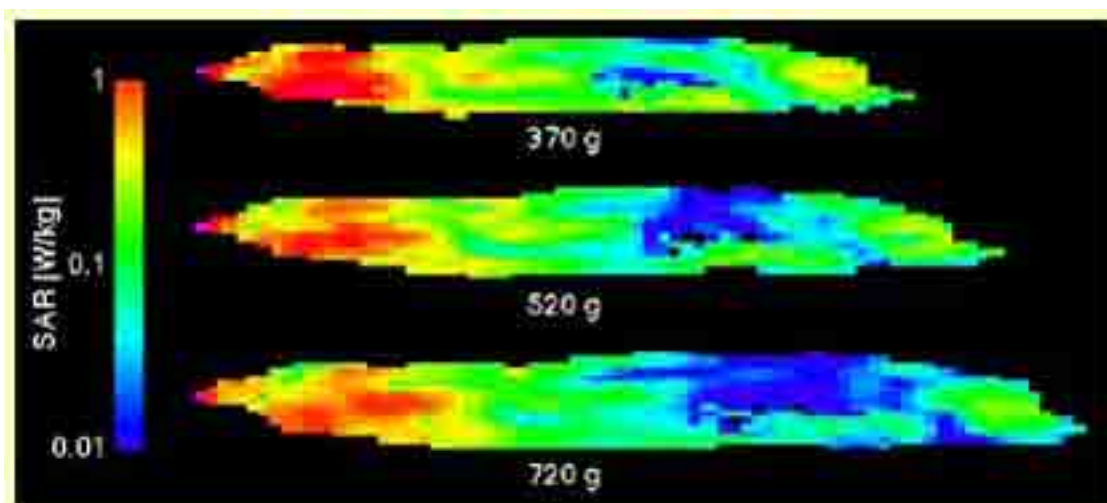


図 20 . ラットモデルを用いたドシメトリー解析

体重 370g で得られた SAR を適用した。

b) T字型迷路による学習・記憶の評価方法

i) 参照記憶保持評価

一旦獲得された参照記憶の電磁波曝露による影響を検討した。4日間のトレーニングにより餌の位置を記憶したラットに、トレーニング終了8日後電磁波を曝露させ、直後に餌をトレーニングのときと同じ位置に置いた迷路課題学習をさせた。16回施行し、その正解回数をカウントした。

ii) 参照記憶獲得評価

参照記憶獲得能力を評価した文献[6]からのグラフを転載する。

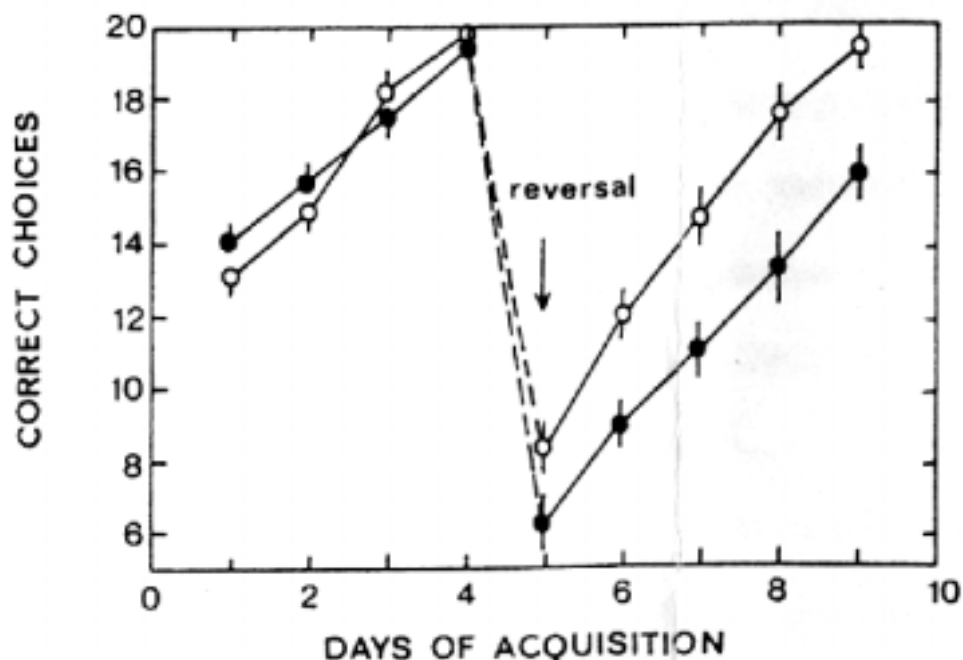


図 21. 参照記憶獲得評価方法

これはアルツハイマー病のモデルと考えたラットにおいて T 字型迷路を用いて参照記憶獲得能力を評価しようとしたものである。これによると、最初の 4 日間をトレーニング期間とし、1日 20 回走行させた。トレーニング終了 5 日目に餌の位置をトレーニングのときとは反対 (reverse) の位置とした。ラットは当初記憶したアームを選択するため正解数は減少するが、次第に餌が置かれた反対のアームを選択するようになり正解数は増加傾向を示す。この正解数の推移をもって参照記憶獲得能力の評価をした。

本研究ではこの方法を参考として以下のように評価方法を設定した。

4 日間のトレーニングで餌の位置を記憶させたラットに、トレーニング終了 4 日後、餌の位置を左右反対にして 1 日 16 回、4 日間 T 字型迷路課題学習をさせた。この 4 日間は迷路学習させる直前に電磁波を曝露させた。4 日間の正解数の

推移をもって参照記憶獲得の評価とした。

c) 統計処理

参照記憶保持，参照記憶獲得における正解数を二元配置分散分析法(two-way analysis of variance; two-way ANOVA)を用いて解析した。

d) 電磁波曝露量および曝露時間

i) 参照記憶保持での条件

ドイツの Fritze は脳平均 SAR 7.5 W/kg の 4 時間の曝露で脳血液関門透過性亢進を認めたと報告している。もし脳血液関門透過性亢進が実際に起こっているのであれば，学習/記憶への何らかの影響が認められる可能性があるため，脳平均 SAR 7.5 W/kg 4 時間の曝露条件を設定した。全身平均 SAR は 1.7 W/kg である。ただし Fritze の条件では脳平均 SAR 7.5 W/kg, 全身平均 SAR 4.2W/kg であり，熱作用の閾値である全身平均 SAR 4 W/kg を超えており，体温上昇が生じた可能性がある。

ii) 参照記憶獲得の条件

曝露量は脳平均 SAR 7.5 W/kg と参照記憶保持での条件と同一とし，曝露期間が 4 日間となるため，一日 1 時間×4 日間とした。

陽性実験として，電磁波曝露による熱作用が生じる条件（脳平均 SAR 25W/kg 全身平均 SAR4.5 W/kg)を設定した。小動物において，熱作用により体温が 1 上昇すると学習能力が低下することはすでに報告されている[7]。

e) ラット体温測定

電磁波の熱作用による体温上昇の有無を確認した。

i) 測定機器

生体用光ファイバー温度計 (LUXTRON Fluoroptic Thermometer model 790) を用いた (図 22)。



図 22 生体用光ファイバー温度計

ii) 測定方法

ラットの前額部皮下と腹腔内に直径 0.5 mm の光ファイバー温度計（図 23）を麻酔下に埋め込み縫合により固定した。麻酔はエチルエーテルにて導入した後、ネンプタール 30 mg/kg を腹腔内投与して維持した。切開、ファイバー挿入部には 1% キシロカインを局所的に併用した。ファイバーを前額部皮下または腹腔内に挿入したままの状態ですラットケースにラットを固定し、電磁波曝露装置に設置し、4 匹の体温を同時に経時的に測定した。



図 23 生体温度計用 光ファイバー

iii) 麻酔のラット体温への影響

ラットの平均体温は 37.8℃ であるが、ネブタール投与によりラットの体温は 33℃ 付近 にまで低下する。哺乳類は常に体温を一定に保つ恒温機能を備えている。体温が 33℃ まで低下したのは麻酔によってこの恒温機能に影響が生じたためである。一方、電磁波曝露により熱作用が認められるのは、曝露による体温上昇が、生体が体温調節できる範囲を上回るときである。したがって、電磁波の熱作用の有無を観察するには、生体の恒温生体機能が正常に作用している必要がある。ラットが麻酔から覚醒するには数時間かかる。そこで麻酔試行後 4 時間経過し、ラットが麻酔から覚醒するのを確認し、ラットの平均体温にまで上昇するのを待ってから電磁波曝露を開始し体温測定を行った。

4. 結果

a) T字型迷路による学習・記憶の評価

i) 参照記憶保持評価

以下の表 5 図 24 に結果を示す。

ラット番号 1-6：曝露群（脳平均 SAR 7.5 W/kg 4 時間）

ラット番号 7-12：偽曝露群

表中の

0：餌の無いアームを選んだ

1：餌のあるアームを選んだが、餌を食べなかった

2：餌のあるアームを選び、餌を食べた

表 5

トレーニング 1 日目

ラット	成功回数																前半成功 回数	後半成功 回数	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			合計
1	0	1	0	1	0	2	2	2	1	0	1	2	2	0	2	2	11	5	6
2	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	12	6	6
3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	14	7	7
4	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	14	6	8
5	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	6	8
6	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	9	4	5
7	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	8	5	3
8	1	0	0	2	0	1	1	1	1	0	2	2	1	2	1	0	11	5	6
9	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
10	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	6	8
11	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	2	2	0	2	7	2	5
12	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	11	4	7

トレーニング 2 日目

ラット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	成功回数 合計	前半成功 回数	後半成功 回数
1	1	1	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	0	13	6	7
2	1	0	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0	1	2	14	7	7
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	8	8
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	16	8	8
5	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	2	1	8	4	4
6	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	2	2	2	8	3	5
7	0	0	0	0	2	0	2	1	1	1	1	0	0	0	2	1	8	3	5
8	1	1	2	2	1	2	2	1	1	0	2	2	1	1	1	0	14	8	6
9	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	14	7	8
10	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	14	7	7
11	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	2	1	0	2	2	12	5	7
12	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	15	7	8

トレーニング 3 日目

ラット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	成功回数 合計	前半成功 回数	後半成功 回数
1	1	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	15	7	8
2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	16	8	8
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	16	8	8
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
5	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	13	6	7
6	1	0	0	1	2	2	1	2	1	0	2	2	2	2	2	2	13	6	7
7	1	0	2	2	1	0	1	1	2	1	2	0	1	2	0	0	11	6	5
8	2	2	1	2	2	0	1	2	1	1	2	2	2	2	1	2	15	7	8
9	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
10	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	16	8	8
11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
12	1	0	1	0	1	1	0	1	2	1	2	2	2	2	2	2	13	5	8

トレーニング 4 日目

ラット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	成功回数 合計	前半成功 回数	後半成功 回数
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
5	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	7	8
6	1	0	2	2	1	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	14	7	7
7	1	0	0	2	1	1	1	1	0	2	1	2	1	1	1	1	13	6	7
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
11	1	1	0	0	2	2	2	2	2	2	0	1	2	2	2	2	13	6	7
12	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8

テスト

ラット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	成功回数 合計	前半成功 回数	後半成功 回数
1	1	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	14	7	7
2	0	1	1	1	0	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	14	6	8
3	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	7	8
4	0	0	1	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	13	5	8
5	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	7	8
6	1	2	0	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	14	7	7
7	1	1	2	2	0	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	15	7	8
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	16	8	8
10	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	7	8
11	1	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	14	6	8
12	1	2	0	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	14	7	7

表 6 参照記憶保持まとめ

	トレーニング		2 日目 前半	3 日目 前半	4 日目 前半					テスト 11 日目 前半	
	1 日目 前半	後半									
曝露群	5.6667	6.6667	6.0000	6.5000	7.1667	7.6667	7.6667	7.8333		6.6667	7.6667
偽曝露群	5.0000	6.1667	6.3333	6.8333	7.0000	7.5000	7.3333	7.6667		7.0000	7.8333
標準誤差	0.4210	0.4940	0.8560	0.6710	0.4010	0.2110	0.2110	0.1670		0.4220	0.2110

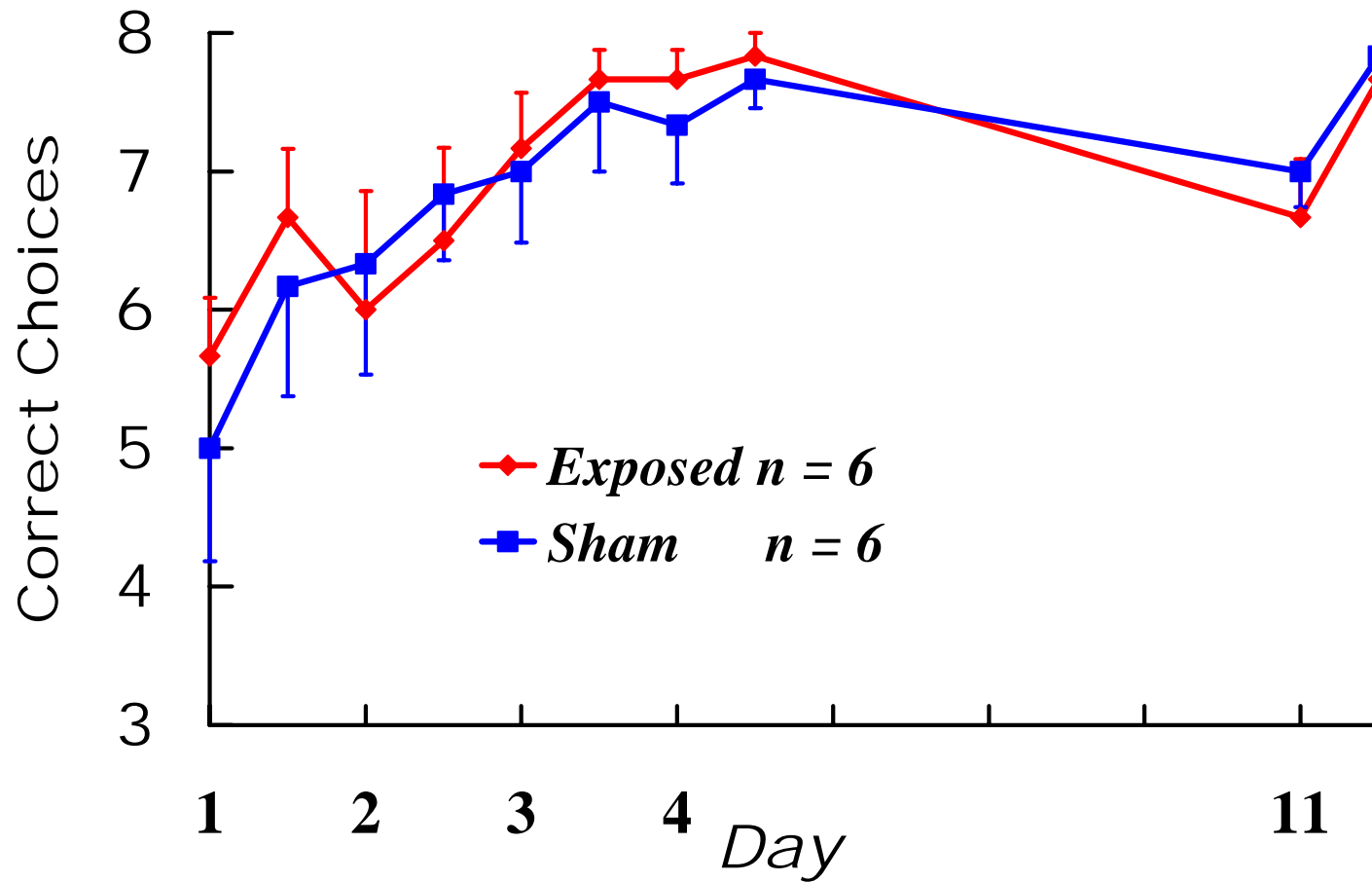


図 24 参照記憶保持 正解回数の推移

ii) 参照記憶獲得評価

以下の表 7 図 25 に結果を示す。

0 : 餌の無いアームを選んだ

1 : 餌のあるアームを選んだが、餌を食べなかった

2 : 餌のあるアームを選び、餌を食べた

曝露群 (脳平均 SAR 7.5 W/kg)
 トレーニング 1 日目

表 7

ラット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	1	0	0	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	13	5	8
2	0	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	15	7	8
3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	2	2	0	7	2	5
4	0	0	1	1	0	0	1	0	2	0	0	1	0	0	2	2	7	3	4
5	1	0	0	0	1	0	2	1	2	2	2	2	2	2	0	1	11	4	7
6	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	2	0	2	2	2	0	6	2	4
7	0	0	2	2	0	0	0	2	0	2	0	2	2	0	0	2	7	3	4
8	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	13	5	8
9	0	1	1	2	0	1	2	2	1	1	0	2	2	0	2	2	12	6	6
10	0	1	0	1	0	1	2	2	1	0	0	1	0	1	1	1	10	5	5
11	0	1	0	1	0	0	2	0	0	2	0	2	0	2	2	0	7	3	4
12	1	0	1	0	0	2	0	2	0	1	0	1	2	0	2	2	9	4	5
13	1	1	1	0	2	2	2	1	0	1	2	1	0	1	1	2	13	7	6
14	1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	12	5	7
15	1	0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	14	7	7

トレーニング 2 日目

ラット	Tr2	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 1 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
3	1 0 1 1 2 2 2 1 1 2 2 0 2 1 2 2	14	7	7
4	0 1 1 0 2 0 2 1 1 1 2 1 1 0 1 1	12	5	7
5	1 1 1 0 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
6	2 0 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
7	0 0 2 2 0 2 0 2 1 2 0 2 2 2 2 2	12	4	7
8	1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 2	15	8	7
9	1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2	16	8	8
10	2 0 1 1 1 2 2 0 1 1 2 2 2 1 0 2	13	6	7
11	1 0 1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
12	1 1 1 0 2 2 2 1 1 1 0 2 2 2 1 0	13	7	6
13	1 0 1 1 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
14	1 1 2 0 1 1 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2	14	7	7
15	1 1 1 0 1 1 2 1 1 1 1 1 0 0 1 0	12	7	5

トレーニング 3 日目

ラット	Tr3	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
3	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
4	0 1 1 1 0 1 0 0 1 1 2 2 2 1 1 2	12	4	8
5	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	1 2 2 0 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1	15	7	8
8	1 0 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 1 1	15	7	8
9	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
10	2 2 2 1 0 1 2 2 1 2 2 2 1 2 1 1	15	7	8
11	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
12	1 1 1 1 0 2 1 1 2 2 2 2 2 0 2 2	14	7	7
13	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
14	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
15	0 2 2 0 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2	13	6	7

トレーニング 4 日目

ラット	Tr4	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
3	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
4	0 2 1 1 1 0 1 2 1 0 2 1 1 1 1 2	13	6	7
5	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
8	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
9	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
10	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
11	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
12	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
13	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
14	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
15	2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8

テスト1日目

ラット	Test1	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	0 0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 0 0 2 0 2	8	3	5
2	0 1 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2	12	5	7
3	0 0 2 0 0 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2	11	3	8
4	0 0 0 0 2 2 2 2 2 0 2 2 0 2 2 2	10	4	6
5	0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	12	4	8
6	0 0 0 0 0 2 2 2 0 2 2 2 0 2 2 2	9	3	6
7	0 0 0 0 2 2 0 2 2 2 2 1 0 1 2 2	10	3	7
8	1 1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2	14	7	7
9	1 0 0 2 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2	11	3	8
10	0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2	9	2	7
11	0 2 0 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2	13	6	7
12	2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 0 2 0 0 0	11	7	4
13	1 0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2	11	4	7
14	0 0 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	13	5	8
15	0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2	12	5	7

テスト2日目

ラット	Test2	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 0 0 2 0 0 0	8	5	3
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2	15	8	7
3	1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1	16	8	8
4	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2	15	8	7
5	1 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
6	2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
7	2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
8	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2	15	8	7
9	0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
10	0 0 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
11	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
12	0 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2	14	7	7
13	0 0 0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	10	2	8
14	0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
15	1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8

テスト3日目

ラット	Test3	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 0 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 0 2 0 2	12	6	6
2	1 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
3	2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0	14	7	7
4	2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	7	8
5	0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
8	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
9	2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2	15	8	7
10	1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2	14	7	7
11	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
12	2 2 2 2 2 0 2 2 2 0 2 2 2 2 0 2	13	7	6
13	0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
14	0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2	14	7	7
15	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8

テスト4日目

ラット	Test4	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2	15	8	7
3	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2	15	8	7
4	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2	15	8	7
5	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
6	2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
7	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
8	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
9	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
10	2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2	14	7	7
11	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
12	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
13	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
14	0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
15	1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2	15	8	7

曝露群(脳平均 SAR 7.5 W/kg) データのまとめ

正解回数	トレーニング		トレーニング		トレーニング		トレーニング	
	1日目前半	後半	2日目前半	後半	3日目前半	後半	4日目前半	後半
平均値	4.5333	5.8667	6.6000	7.2667	7.3333	7.8667	7.8000	7.9333
標準偏差	1.7265	1.5523	1.1212	0.8837	1.1127	0.3519	0.5606	0.2582
標準誤差	0.4458	0.4008	0.2895	0.2282	0.2873	0.0909	0.1447	0.0667

正解回数	テスト		テスト		テスト		テスト	
	1日目前半	後半	2日目前半	後半	3日目前半	後半	4日目前半	後半
平均値	4.2667	6.8000	6.8000	7.4000	7.2667	7.4667	7.6667	7.6667
標準偏差	1.5337	1.1464	1.5675	1.2984	0.7037	0.7432	0.6172	0.4880
標準誤差	0.3960	0.2960	0.4047	0.3352	0.1817	0.1919	0.1594	0.1260

曝露群 (脳平均 SAR 25 W/kg)

トレーニング 1 日目

ラット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	1	0	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	14	7	7
2	1	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	2	2	2	1	8	4	4
3	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	2	0	2	2	1	9	3	6
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	8	8
5	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	11	4	7
6	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	12	4	8
7	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	12	5	7
8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	14	7	7
9	1	1	2	1	1	1	1	2	0	1	1	0	1	1	0	1	13	8	5
10	1	1	0	2	2	2	0	1	1	1	2	2	2	0	1	0	12	6	6
11	1	1	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	0	1	14	8	6
12	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	9	4	5
13	1	1	1	0	1	0	2	2	2	2	0	2	1	2	0	0	11	6	5

トレーニング 2 日目

ラット	Tr2	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 0 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
2	2 0 0 0 2 2 2 2 0 2 2 2 0 2 2 2	11	5	6
3	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 2 2 1	14	7	7
4	1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0	13	6	7
5	1 1 0 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2	14	7	7
6	1 0 0 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 2	14	6	8
7	1 1 0 1 2 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1	13	7	6
8	1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 2 1 2	12	4	8
9	1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2	14	6	8
10	1 0 1 0 2 2 2 0 0 2 2 2 2 2 2 2	12	5	7
11	1 1 0 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
12	0 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1	13	5	8
13	0 2 2 0 0 0 1 0 0 1 2 2 1 1 1 1	10	3	7

トレーニング 3 日目

ラット	Tr3	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
2	2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
3	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
4	0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1	12	6	6
5	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 0 1 2 2 2 1	15	8	7
8	1 1 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2	16	8	8
9	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1	16	8	8
10	1 1 1 0 2 2 2 2 2 2 2 1 2 0 2 2	14	7	7
11	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
12	1 1 1 0 1 1 1 0 1 0 0 0 1 1 2 1	11	6	5
13	1 1 1 1 1 0 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2	15	7	8

トレーニング 4 日目

ラット	Tr4	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
3	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
4	1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 2 2 2 1 1 1	14	6	8
5	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	1 1 2 1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
8	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
9	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
10	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
11	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
12	1 1 0 1 0 0 1 0 0 2 2 2 1 2 1 1	11	4	7
13	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8

テスト1日目

ラット	Test1	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	0 1 1 1 0 0 2 0 2 0 2 2 2 2 2 0	10	4	6
2	0 0 0 0 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	11	3	8
3	1 0 1 0 1 0 1 0 2 2 2 2 0 2 0 1	10	4	6
4	0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1 2 1 1	10	3	7
5	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0	0	0
6	0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0	2	0	2
7	0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0	3	3	0
8	0 0 0 2 0 2 2 2 0 2 0 0 2 0 0 0	6	4	2
9	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 0 1 1 0 2	4	0	4
10	0 0 0 2 0 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2	11	4	7
11	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 0 2 2	5	0	5
12	0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1	1	0
13	0 1 0 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2	13	6	7

テスト2日目

ラット	Test2	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	0 0 0 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 0	12	5	7
2	1 0 2 2 2 0 2 0 2 2 2 0 2 2 1 2	12	5	7
3	1 1 0 1 1 1 1 2 1 1 1 0 1 0 1 1	13	7	6
4	0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	12	4	8
5	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0	0	0
6	0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0	5	3	2
7	0 1 0 2 2 0 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2	12	5	7
8	0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1	5	1	4
9	0 1 1 1 2 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0	12	6	6
10	0 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
11	0 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
12	0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 2	8	4	4
13	2 2 0 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8

テスト3日目

ラット	Test3	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
2	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2	15	8	7
3	1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 0 0 2 1 1 1	14	8	6
4	0 1 1 1 1 2 1 1 2 2 0 2 2 0 1 1	13	7	6
5	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0	0	0
6	0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 1	6	2	4
7	1 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	13	5	8
8	1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 2	5	2	3
9	0 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2	14	7	7
10	2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
11	2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
12	1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1	9	4	5
13	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2	16	8	8

テスト4日目

ラット	Test4	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
2	1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
3	0 1 1 1 0 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1	14	6	8
4	0 1 0 1 2 2 2 0 2 2 2 2 2 1 2 2	13	5	8
5	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0	0	0
6	1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0	3	2	1
7	1 0 1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
8	0 0 2 2 2 2 0 2 2 2 2 0 2 2 2 2	12	5	7
9	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 0 2 2	15	8	7
10	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
11	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
12	1 1 0 1 1 0 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
13	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8

曝露群(脳平均 SAR 25 W/kg) データのまとめ

正解回数	トレーニング		トレーニング		トレーニング		トレーニング	
	1日目前半	後半	2日目前半	後半	3日目前半	後半	4日目前半	後半
平均値	5.6923	6.2308	5.6923	7.3077	7.4615	7.4615	7.4615	7.9231
標準偏差	1.7974	1.2352	1.2506	0.7511	0.7763	0.9674	1.1983	0.2774
標準誤差	0.4985	0.3426	0.3469	0.2083	0.2153	0.2683	0.3323	0.0769

正解回数	テスト		テスト		テスト		テスト	
	1日目前半	後半	2日目前半	後半	3日目前半	後半	4日目前半	後半
平均値	2.4615	4.1538	4.5385	5.7692	5.6154	6.0000	6.0000	6.6923
標準偏差	2.0255	2.9957	2.1454	2.5545	2.7549	2.4495	2.5495	2.7804
標準誤差	0.5618	0.8309	0.5950	0.7085	0.7641	0.6794	0.7071	0.7712

偽曝露群
トレーニング1日目

ラット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	0	1	0	2	0	2	2	2	2	2	2	0	1	1	2	2	12	5	7
2	0	1	2	2	1	1	0	1	1	1	1	1	2	2	1	1	14	6	8
3	1	0	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	0	2	1	2	13	6	7
4	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	9	5	4
5	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	12	6	6
6	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9	3	6
7	0	1	2	0	0	2	2	1	1	0	0	2	2	2	2	2	11	5	6
8	0	0	1	0	0	2	2	1	0	2	0	1	1	2	2	0	9	4	5
9	0	1	0	0	1	2	2	0	2	2	0	2	0	2	2	2	10	4	6
10	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	11	3	8
11	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	2	1	2	2	9	4	5
12	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	12	4	8
13	1	0	2	1	0	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	13	6	7
14	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	2	1	12	5	7
15	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	2	2	2	12	5	7
16	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	2	2	11	4	7

トレーニング 2 日目

ラット																正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	0	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	15	6	8
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
3	1	0	2	2	2	1	2	2	1	1	1	0	2	1	2	14	6	7
4	1	1	1	0	1	1	2	2	2	0	2	1	2	1	1	14	6	7
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	7	8
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	12	6	6
7	0	1	1	2	2	2	2	0	0	1	2	2	2	2	2	12	6	6
8	0	0	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	1	0	10	4	6
9	0	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	12	5	7
10	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	8	4	4
11	0	0	2	0	1	0	0	0	2	0	1	2	2	0	2	7	2	5
12	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	13	6	7
13	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	13	6	7
14	1	0	1	1	0	1	2	2	2	2	2	1	2	0	1	12	5	7
15	0	1	1	0	1	2	2	2	2	1	0	2	2	2	2	12	5	7
16	1	0	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	2	2	12	5	7

トレーニング 3 日目

ラット	Tr3	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
3	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
4	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
5	1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	5	5	0
6	1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 2	12	5	7
7	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
8	2 2 0 2 2 2 1 0 0 2 0 2 2 1 0 2	11	6	5
9	0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
10	1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1	14	7	7
11	1 1 1 0 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2	14	7	7
12	1 1 1 1 2 1 0 2 2 2 2 1 0 1 2 2	14	7	7
13	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
14	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2	15	8	7
15	1 2 0 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2	15	7	8
16	1 0 1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8

トレーニング4日目

ラット	Tr4	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
3	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
4	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
5	1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0	13	7	6
6	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
8	2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
9	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
10	1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	15	7	8
11	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
12	1 1 1 1 0 1 0 2 1 2 2 2 2 1 2 1	14	6	8
13	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
14	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
15	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
16	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8

テスト1日目

ラット	Test1	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	0 1 0 0 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 0 2	11	4	7
2	0 1 0 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 1 2	13	6	7
3	0 0 0 0 2 0 2 2 2 2 2 1 1 2 0 1	10	3	7
4	0 1 0 0 2 1 1 0 0 2 2 0 1 1 1 2	10	4	6
5	0 0 0 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2	13	5	8
6	1 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
7	2 0 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
8	0 0 0 0 0 2 2 2 2 0 2 2 2 2 0 2	9	3	6
9	0 0 2 0 2 2 0 2 2 2 2 0 2 2 2 0	10	4	6
10	0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 0	7	2	5
11	0 2 1 0 2 2 0 2 2 0 2 2 2 0 2 2	11	5	6
12	0 1 0 0 2 0 2 2 0 2 2 0 2 0 2 0	8	4	4
13	0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	13	5	8
14	0 0 1 0 0 2 2 1 0 0 2 2 0 1 0 1	8	4	4
15	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0	2	1	1
16	0 0 1 0 1 1 1 1 2 0 2 2 2 2 2 2	12	5	7

テスト2日目

ラット	Test2	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	1 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
2	1 0 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2	15	7	8
3	0 1 1 2 1 0 1 0 1 2 2 1 2 2 2 2	13	5	8
4	1 1 0 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
5	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
8	2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
9	0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2	14	7	7
10	1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	14	6	8
11	2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
12	0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
13	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
14	0 1 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 2 1 0 1	9	4	5
15	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 0 0 0 2 0	2	0	2
16	0 1 0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 2 2 2 2	11	4	7

テスト3日目

ラット	Test3	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	1 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
2	2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
3	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
4	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
5	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2	16	8	8
6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
8	2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
9	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
10	1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2	16	8	8
11	1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
12	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
13	0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
14	1 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2	14	7	7
15	2 0 0 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	11	3	8
16	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2	15	8	7

テスト4日目

ラット	Test4	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
2	1 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
3	2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
4	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
5	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
8	2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
9	0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
10	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
11	0 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
12	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
13	0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
14	1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2	15	8	7
15	0 2 2 2 2 2 0 2 0 0 2 0 2 0 2 2	10	6	4
16	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8

偽曝露群データのまとめ

正解回数	トレーニング		トレーニング		トレーニング		トレーニング	
	1日目前半	後半	2日目前半	後半	3日目前半	後半	4日目前半	後半
平均値	4.6875	6.5000	5.4375	6.6875	7.0625	7.0000	7.6875	7.8750
標準偏差	1.0145	1.1547	1.3647	1.0782	1.0626	2.0331	0.6021	0.5000
標準誤差	0.2536	0.2887	0.3412	0.2695	0.2657	0.5083	0.1505	0.1250

正解回数	テスト		テスト		テスト		テスト	
	1日目前半	後半	2日目前半	後半	3日目前半	後半	4日目前半	後半
平均値	4.1875	6.1250	6.1250	7.3125	7.2500	7.8750	7.4375	7.6875
標準偏差	1.4245	1.8930	2.0616	1.6215	1.2910	0.3416	0.7274	1.0145
標準誤差	0.3561	0.4732	0.5154	0.4054	0.3227	0.0854	0.1819	0.2536

ケージ群
トレーニング1日目

ラット	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	0	0	1	0	2	2	1	1	2	2	2	0	2	1	2	2	12	5	7
2	1	0	1	2	2	0	2	2	0	0	2	2	0	2	2	2	11	6	5
3	0	2	2	0	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	13	5	8
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
5	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	2	0	9	5	4
6	1	0	0	1	2	0	1	0	1	1	2	2	2	2	2	2	12	4	8
7	0	1	0	0	0	2	1	0	0	1	0	2	0	2	1	1	8	3	5
8	1	2	1	2	2	0	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	15	7	8
9	1	1	2	2	2	0	0	0	1	0	2	2	2	2	0	1	11	5	6
10	1	0	2	0	2	2	0	0	2	2	2	2	2	2	1	2	12	4	8
11	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	2	2	0	0	1	1	8	4	4
12	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	13	6	7

トレーニング 2 日目

ラット	Tr2	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2	15	8	7
3	2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0	14	7	7
4	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
5	1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1 0 1	10	4	6
6	1 0 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2	15	7	8
7	0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0	6	3	3
8	0 1 1 1 2 1 0 1 1 1 1 2 2 2 0 1	13	6	7
9	0 1 1 0 1 2 0 0 2 1 0 2 2 2 0 1	10	4	6
10	0 1 1 1 1 2 2 2 1 2 1 2 2 0 2 0	13	7	6
11	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0	13	7	6
12	1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1	13	6	7

トレーニング 3 日目

ラット	Tr3	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
3	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
4	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
5	1 0 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 1	15	7	8
6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 2 0 0	6	2	4
8	1 2 0 1 1 2 1 2 0 2 2 2 2 1 2 2	14	7	7
9	0 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
10	2 1 2 0 1 1 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
11	1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2	14	6	8
12	0 1 1 1 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2	15	7	8

トレーニング 4 日目

ラット	Tr4	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
2	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
3	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
4	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
5	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	1 1 0 2 2 2 2 1 0 0 0 2 2 0 2 1	11	7	4
8	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
9	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
10	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
11	1 0 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
12	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8

テスト1日目

ラット	Test1	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	0 0 2 2 2 0 1 2 0 2 2 2 2 2 2 2	12	5	7
2	0 0 2 2 0 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2	12	5	7
3	0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	13	5	8
4	0 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
5	0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 2 0 2 2	7	3	4
6	0 0 0 2 0 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 0	10	4	6
7	1 0 1 1 1 2 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1	10	7	3
8	0 1 0 2 1 0 0 0 0 0 2 0 0 1 0 1	6	3	3
9	0 2 0 2 2 2 2 0 2 0 2 2 2 2 2 2	12	5	7
10	1 0 0 2 0 0 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2	11	4	7
11	0 1 0 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 0 1 0	11	5	6
12	1 0 0 0 0 0 1 2 1 1 0 2 0 1 1 1	9	3	6

テスト2日目

ラット	Test2	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	1 1 2 2 0 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
2	2 2 0 2 2 0 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2	13	5	8
3	2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
4	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0	15	8	7
5	0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 0 0 2	11	6	5
6	2 0 2 2 2 0 2 2 2 2 0 2 0 2 2 2	12	6	6
7	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
8	1 0 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
9	2 0 2 2 0 2 0 2 2 2 2 0 2 2 0 2	11	5	6
10	0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
11	1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0	14	7	7
12	1 2 0 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8

テスト3日目

ラット	Test3	正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数
1	1 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
2	2 2 0 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2	14	6	8
3	1 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
4	1 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2	14	7	7
5	0 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
6	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
7	1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
8	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	16	8	8
9	0 2 2 2 2 2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2	14	7	7
10	2 2 2 2 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	15	7	8
11	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2	16	8	8
12	2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 0 1 1 1 1 1	15	8	7

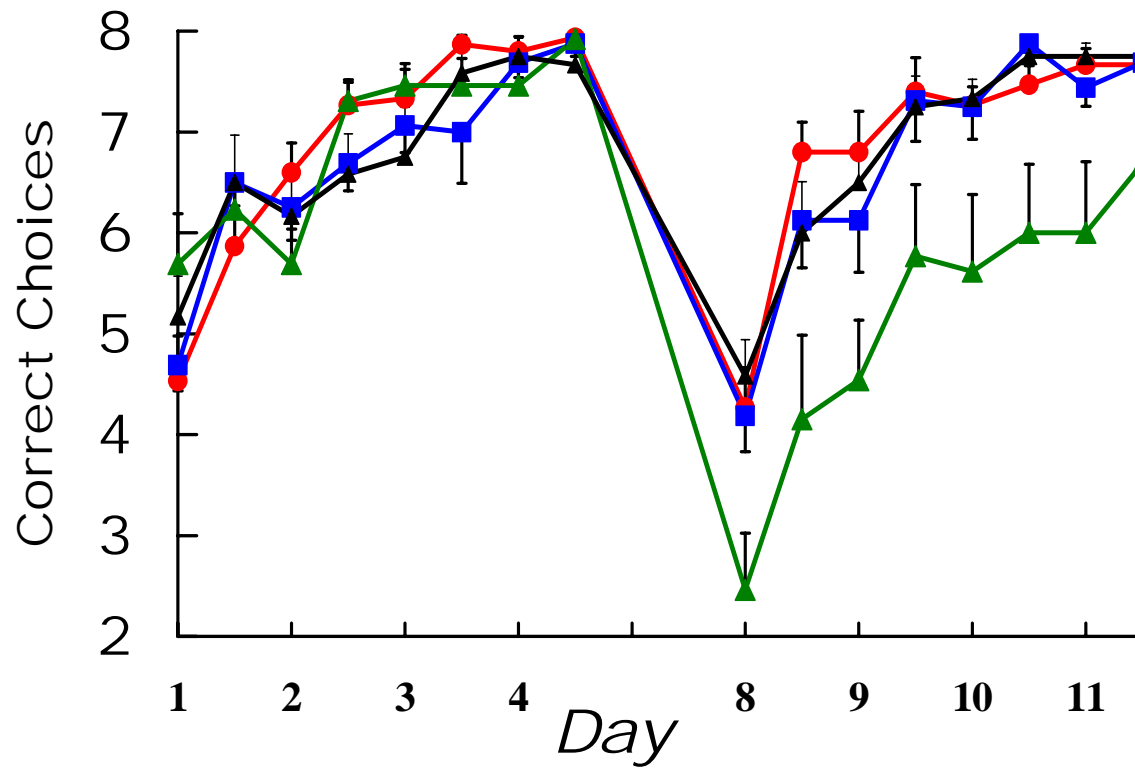
テスト4日目

ラット	Test4															正解回数	前半 正解回数	後半 正解回数	
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	15	8	7
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	15	8	7
3	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	15	7	8
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
5	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	15	7	8
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
9	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	15	7	8
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	16	8	8
12	1	2	2	2	2	1	1	1	0	1	2	2	1	2	2	2	15	8	7

ケージ群データのまとめ

正解回数	トレーニング		トレーニング		トレーニング		トレーニング	
	1日目前半	後半	2日目前半	後半	3日目前半	後半	4日目前半	後半
平均値	5.1667	6.5000	6.1667	6.5833	6.7500	7.5833	7.7500	7.6667
標準偏差	1.4035	1.6237	1.6422	1.3790	1.7123	1.1645	0.6216	1.1547
標準誤差	0.4051	0.4687	0.4741	0.3981	0.4943	0.3362	0.1794	0.3333

正解回数	テスト		テスト		テスト		テスト	
	1日目前半	後半	2日目前半	後半	3日目前半	後半	4日目前半	後半
平均値	4.5833	6.0000	6.5000	7.2500	7.3333	7.7500	7.7500	7.7500
標準偏差	1.2401	1.7581	1.0000	1.0553	0.6513	0.4523	0.4523	0.4523
標準誤差	0.3580	0.5075	0.2887	0.3046	0.1880	0.1306	0.1306	0.1306



● *Brain ave. SAR 7.4 W/kg n = 15* ■ *Sham control n = 16*
 ▲ *Brain ave. SAR 25 W/kg n = 13* ▼ *Cage control n = 12*

図 25 参照記憶獲得 正解数の推移

iii) 統計学的検討

参照記憶保持

曝露群，偽曝露群のトレーニング期間の正解数の推移，および曝露後の正解数の間に有意差を認めなかった。

参照記憶獲得

トレーニング期間中の正解数の推移には，曝露群(脳平均 SAR 7.5 W/kg)，曝露群(脳平均 SAR 25 W/kg)，偽曝露群，ケージ群の間に有意差は認めなかった。曝露後の正解数の推移に関しては，曝露群(脳平均 SAR 7.5 W/kg)，偽曝露群，ケージ群の間には有意差を認めなかったが，曝露群(脳平均 SAR 25 W/kg)と曝露群(脳平均 SAR 7.5 W/kg)，偽曝露群，ケージ群の間にはそれぞれ有意差を認めた ($P<0.01$)

b) 電磁波曝露によるラット体温変化

i) 前額部皮下体温

曝露群(脳平均 SAR 7.5 W/kg)，偽曝露群においては体温の上昇は認められなかった。

曝露群(脳平均 SAR 25 W/kg)においては体温の上昇を認めた。

以下の表 8 および図 26 に示す。

表 8 電磁波曝露によるラット前額部皮下体温変化

経過時間(分)	ラット体温変化()		脳平均 SAR 7.5		脳平均 SAR 25	
	偽曝露群	標準偏差	W/kg	標準偏差	W/kg	標準偏差
0	36.29	0.76	36.61	0.34	36.31	0.80
1	36.23	0.78	36.64	0.35	36.24	0.82
2	36.24	0.80	36.64	0.33	36.47	0.88
3	36.20	0.76	36.62	0.41	36.59	0.89
4	36.14	0.79	36.63	0.36	36.85	1.06
5	36.20	0.77	36.69	0.43	36.91	0.94
6	36.17	0.76	36.74	0.46	37.12	0.94
7	36.19	0.73	36.79	0.52	37.21	0.99
8	36.19	0.68	36.78	0.57	37.37	0.93
9	36.20	0.69	36.90	0.50	37.32	0.84
10	36.14	0.69	36.91	0.49	37.57	0.77
11	36.13	0.65	36.94	0.54	37.63	0.71
12	36.14	0.66	36.93	0.57	37.69	0.74
13	36.15	0.64	36.94	0.56	37.81	0.95
14	36.16	0.65	36.97	0.58	37.85	0.97
15	36.12	0.68	37.04	0.58	37.93	1.04
16	36.14	0.64	37.00	0.59	38.14	1.05
17	36.12	0.65	37.03	0.62	38.16	0.96
18	36.08	0.67	37.04	0.74	38.28	0.97
19	36.07	0.68	37.10	0.72	38.38	0.95
20	36.09	0.67	37.14	0.69	38.38	0.98
21	36.12	0.65	37.13	0.72	38.46	0.96
22	36.09	0.64	37.11	0.79	38.55	1.06
23	36.10	0.65	37.08	0.71	38.61	0.92
24	36.08	0.61	37.14	0.76	38.69	0.83
25	36.12	0.57	37.07	0.88	38.68	1.05
26	36.08	0.58	37.15	0.72	38.69	1.07
27	36.10	0.60	37.15	0.74	38.61	1.21
28	36.06	0.64	37.16	0.77	38.85	1.08
29	36.09	0.57	37.18	0.80	38.82	1.08
30	36.10	0.56	37.19	0.83	38.90	1.04
31	36.09	0.60	37.24	0.84	38.95	1.12
32	36.10	0.63	37.20	0.83	39.06	1.00
33	36.13	0.57	37.22	0.85	39.09	1.03
34	36.14	0.58	37.20	0.84	39.18	1.01
35	36.09	0.54	37.14	0.85	39.10	1.11
36	36.09	0.57	37.22	0.84	39.04	1.12
37	36.15	0.56	37.17	0.86	38.98	1.19
38	36.18	0.50	37.17	0.91	38.94	1.30
39	36.16	0.53	37.18	0.92	38.79	1.45

40	36.19	0.51	37.23	0.88	38.82	1.48
41	36.18	0.55	37.27	0.95	38.83	1.62
42	36.17	0.55	37.23	0.98	39.02	1.37
43	36.20	0.51	37.27	1.02	39.10	1.34
44	36.16	0.55	37.23	0.96	39.19	1.33
45	36.18	0.49	37.16	1.00	39.25	1.30
46	36.13	0.55	37.22	1.00	39.25	1.33
47	36.18	0.51	37.20	1.03	39.21	1.36
48	36.14	0.53	37.24	0.98	39.26	1.38
49	36.16	0.54	37.23	0.99	39.02	1.90
50	36.18	0.53	37.25	0.92	39.08	1.82
51	36.16	0.57	37.17	0.95	39.25	1.75
52	36.10	0.59	37.19	0.92	39.11	1.61
53	36.15	0.53	37.21	0.86	39.09	1.73
54	36.14	0.52	37.21	0.94	39.17	1.67
55	36.21	0.47	37.19	1.01	39.12	1.58
56	36.20	0.47	37.16	0.99	39.03	1.44
57	36.23	0.46	37.19	1.05	39.09	1.56
58	36.32	0.46	37.15	1.00	39.16	1.52
59	36.30	0.44	37.19	1.02	39.11	1.44
60	36.41	0.50	37.13	1.02	38.95	1.18

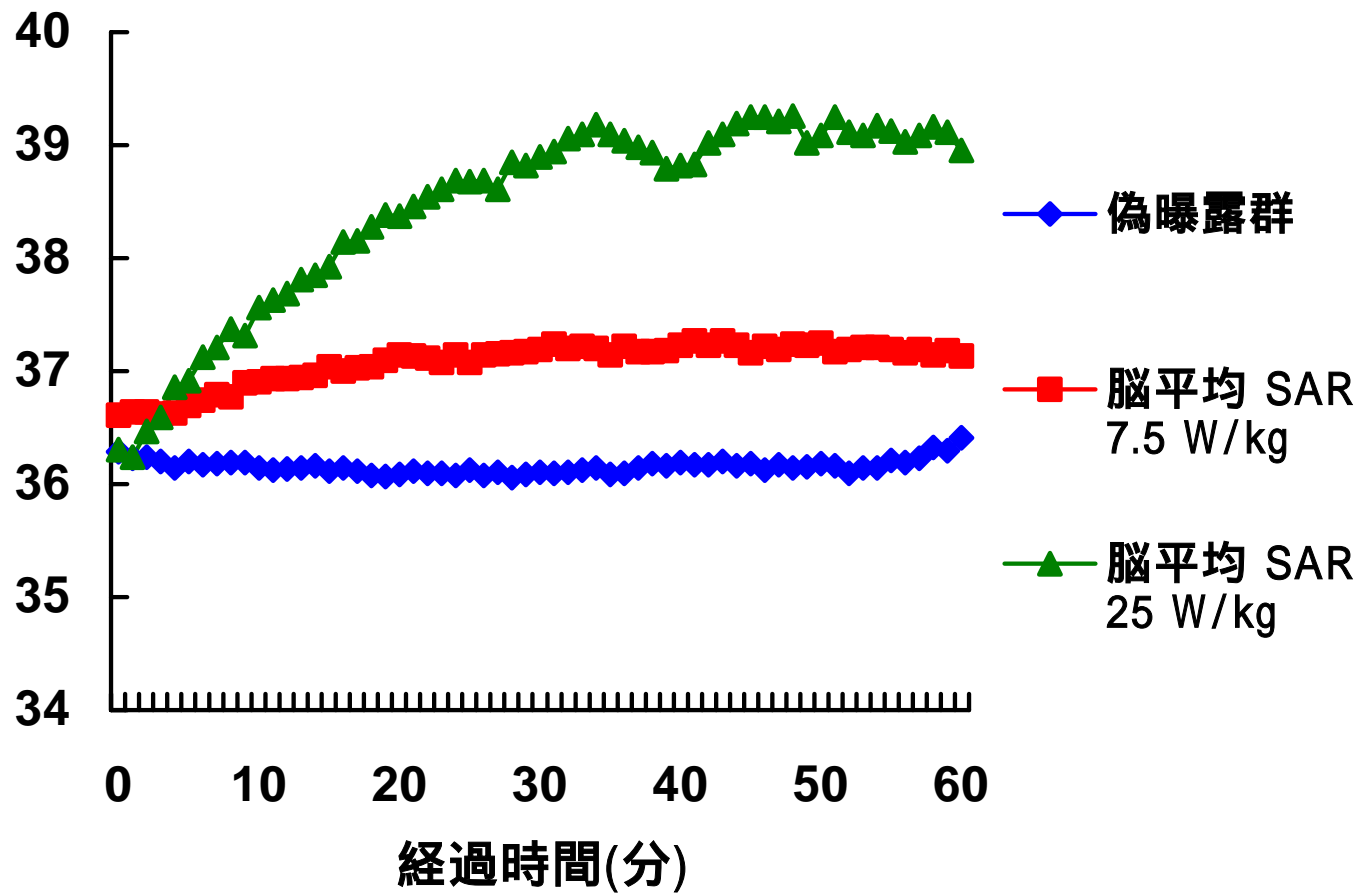


図 26 電磁波曝露によるラット前額部皮下体温変化

ii) 腹腔内体温

電磁波曝露による腹腔内体温変化を以下の表 9, 図 27, 図 28 に示す。

前頭部皮下体温の場合と同様に, 曝露群 (脳平均 SAR 7.5 W/kg), 偽曝露群においては体温の上昇は認められなかった。

曝露群 (脳平均 SAR 25 W/kg) においては体温の上昇を認めた。

表 9 電磁波曝露によるラット腹腔内体温変化

ラット体温変化()			脳平均 7.5 W/kg		脳平均 25 W/kg	
経過時間(分)	偽曝露群	標準偏差	標準偏差	標準偏差	標準偏差	標準偏差
0	36.87	0.72	37.11	0.40	37.55	0.45
1	36.85	0.83	37.05	0.40	37.50	0.45
2	36.92	0.77	37.10	0.39	37.57	0.43
3	36.90	0.78	37.07	0.37	37.61	0.48
4	36.90	0.78	37.04	0.39	37.66	0.43
5	36.88	0.77	37.13	0.30	37.65	0.42
6	36.93	0.74	37.20	0.24	37.62	0.37
7	36.91	0.74	37.19	0.20	37.77	0.38
8	36.95	0.73	37.22	0.19	37.74	0.40
9	36.90	0.77	37.21	0.21	37.83	0.32
10	36.94	0.77	37.27	0.15	37.85	0.30
11	36.93	0.77	37.29	0.18	37.88	0.30
12	36.93	0.76	37.23	0.17	37.89	0.29
13	36.92	0.77	37.27	0.19	37.98	0.51
14	36.90	0.76	37.25	0.19	37.96	0.55
15	36.93	0.67	37.17	0.29	37.97	0.54
16	36.88	0.71	37.27	0.09	38.01	0.61
17	36.89	0.63	37.29	0.10	38.08	0.67
18	36.90	0.60	37.29	0.11	38.13	0.74
19	36.88	0.57	37.23	0.17	38.18	0.73
20	36.95	0.62	37.25	0.15	38.15	0.74
21	36.87	0.62	37.26	0.20	38.24	0.78
22	36.94	0.64	37.25	0.28	38.25	0.79
23	36.91	0.63	37.17	0.33	38.27	0.74
24	36.97	0.62	37.21	0.42	38.36	0.76
25	36.94	0.64	37.18	0.44	38.44	0.80
26	37.00	0.62	37.24	0.39	38.45	0.81
27	36.92	0.69	37.20	0.40	38.54	0.74
28	36.94	0.69	37.26	0.38	38.59	0.71
29	36.94	0.71	37.37	0.27	38.64	0.73
30	36.98	0.59	37.25	0.42	38.68	0.68
31	36.99	0.57	37.23	0.40	38.57	0.65
32	36.94	0.57	37.27	0.38	38.69	0.72
33	36.96	0.56	37.21	0.43	38.76	0.83
34	36.95	0.50	37.20	0.46	38.72	0.82
35	36.92	0.55	37.22	0.43	38.74	0.83
36	36.90	0.57	37.24	0.40	38.94	0.96
37	36.85	0.55	37.27	0.35	38.88	0.92
38	36.92	0.55	37.25	0.32	38.87	0.90
39	36.87	0.57	37.24	0.34	39.00	1.09

40	36.89	0.52	37.19	0.36	38.97	1.07
41	36.95	0.48	37.16	0.38	39.01	1.06
42	36.91	0.47	37.20	0.40	39.06	1.16
43	36.88	0.45	37.29	0.36	39.15	1.17
44	37.04	0.43	37.29	0.40	39.13	1.07
45	36.99	0.45	37.21	0.45	39.21	1.09
46	36.99	0.45	37.30	0.41	39.32	1.18
47	37.00	0.44	37.28	0.51	39.26	1.18
48	36.98	0.45	37.18	0.46	39.32	1.18
49	36.99	0.44	37.21	0.35	39.22	1.08
50	36.93	0.48	37.25	0.42	39.37	1.18
51	36.99	0.44	37.18	0.40	39.33	1.04
52	36.93	0.44	37.30	0.30	39.38	1.05
53	36.95	0.43	37.23	0.30	39.47	1.26
54	36.97	0.47	37.27	0.32	39.40	1.13
55	36.98	0.45	37.31	0.26	39.41	1.09
56	36.96	0.47	37.22	0.39	39.45	1.16
57	36.93	0.51	37.35	0.30	39.52	1.30
58	36.88	0.53	37.25	0.44	39.58	1.24
59	36.91	0.51	37.26	0.43	39.51	1.35
60	36.91	0.48	37.26	0.43	39.47	1.28

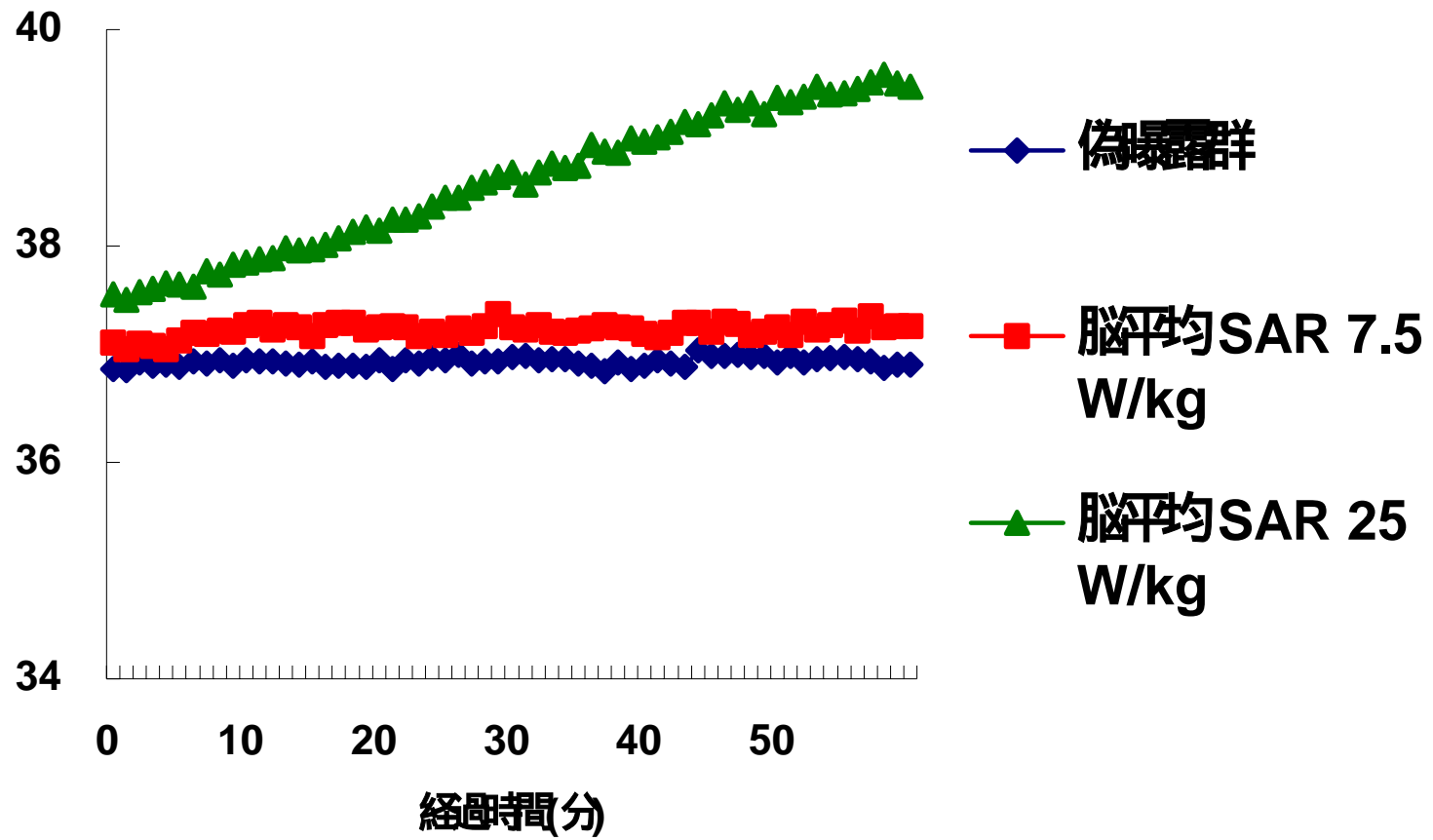


図 27 電磁波曝露によるラット腹腔内体温変化

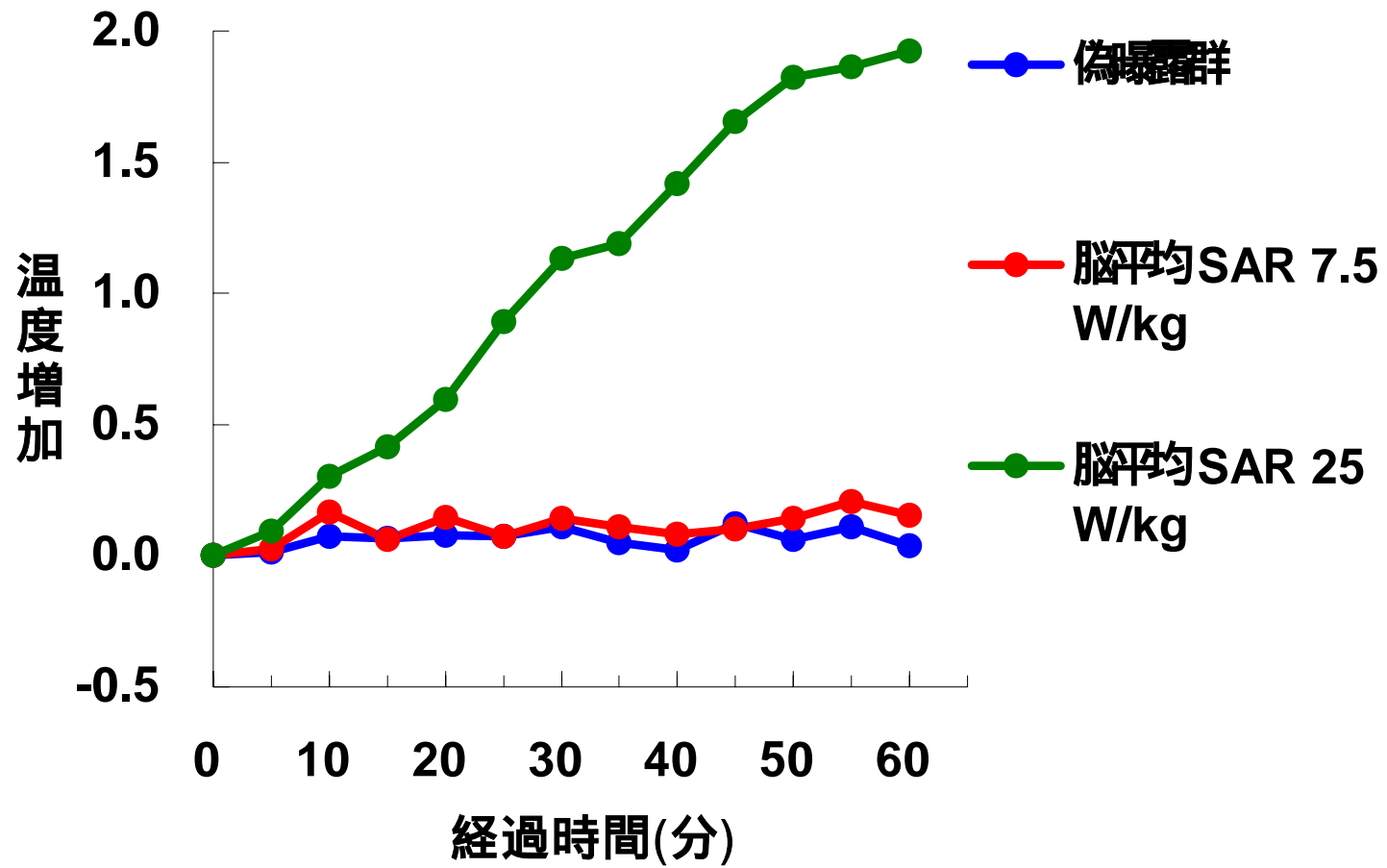


図 28 電磁波曝露によるラット体温変化 (温度増加)

5. 結論

高周波電磁波曝露がラット脳機能に及ぼす影響をT字型迷路により検討する実験において、全身平均 SAR 1.7 W/kg、脳平均 SAR 7.5 W/kg の電磁波を4時間曝露させたが、参照記憶保持に与える影響は認められなかった。また上記の電磁波を1日1時間、4日間にわたり曝露させたが、参照記憶獲得に与える影響は認められなかった。一方、全身平均 SAR 4.5 W/kg、脳平均 SAR 25W/kg の電磁波を45分間、4日間にわたり曝露させたところラット体温の上昇と参照記憶獲得に与える影響が認められ、ラット学習能力の低下を認めた。

携帯電話から発生される高周波電磁波のレベル(局所平均 SAR < 2.0 W/kg)を大幅に上回る曝露によっても、熱作用を生じる条件でなければ、ラット学習・記憶能力への影響はみられなかった。

6. 考察

本研究において、全身平均 SAR 4.5 W/kg、脳平均 SAR 25 W/kg の電磁波曝露による体温上昇がみられたが、全身平均 SAR 1.7 W/kg、脳平均 SAR 7.5 W/kg の電磁波曝露による著明な体温上昇はみられなかった。この結果は、全身平均 SAR が約 4 W/kg を超える電磁波に曝露した実験動物には、熱調節応答の特徴的なパターンが現れ体温が上昇する[1]という報告に矛盾しない。曝露群（脳平均 SAR 7.5 W/kg）では偽曝露群に比べ、前頭部皮下体温、腹腔内体温ともに若干の高値を示している。しかし、偽曝露群の体温はラットの平均体温よりも低く、これは送風器による体温低下のためと考えられる。電磁エネルギー吸収により体温上昇を生ずるようなレベルについては、細胞及び動物個体を用いた研究で、神経及び神経筋機能の変化や血液脳関門の透過性の増加をはじめとした多くの生理学的影響が観察されている[7]。したがって、本研究において、全身平均 SAR 4.5 W/kg、脳平均 SAR 25 W/kg の電磁波曝露により課題遂行成績の低下がみられたのは、電磁波の熱作用により体温上昇をきたしたためにラットの脳機能が影響を受けたのが原因であると考えられる。全身平均 SAR 1.7 W/kg、脳平均 SAR 7.5 W/kg の電磁波曝露によつては課題遂行成績の低下はみられなかった。我国では、「携帯電話端末等、身体に近接して使用する小型無線機等に適用する電波防護指針（局所吸収指針）」により、携帯電話から発する電磁波は一般環境において全身平均 SAR 0.08 W/kg 以下、局所 SAR 2.0 W/kg 以下となるように定められている。したがって、本研究からは、脳への電磁波曝露レベルが携帯電話を大幅に上回る場合でも、熱作用を生じない条件であれば、ラットの課題学習能力への影響は認められなかったといえることができる。

高周波電磁波曝露により、ラットの作業記憶と参照記憶における課題学習能力の低下が認められたと報告されている[1, 2]。これらの結果と本研究の結果を比較するため、表 10 にまとめた。B. Wang らの報告によると、ラットの参照記憶をモリス水迷路（図 29）にて評価したところ、高周波電磁波（全身平均 SAR 1.2 W/kg）の 1 日 60 分、6 日間の曝露による学習能力低下が認められた（図 30）。この報告には、1) ラットの学習能力には個体間差があり、これが考慮されていない。2) 水迷路実験では参照記憶以外に運動能力も関係しており、実験系が複雑であるため、N=11 では 1) の個体間差が影響している可能性を否定できない。3) 曝露装置が判然とせず、頭部平均 SAR の記載がない。4) 曝露による体温上昇の有無の記載がない。5) 電磁波による auditory effect がラットの行動に影響を与えた可能性がある、といった問題点がある。本研究はより単純な迷路を用い他の影響が生じる可能性をできるだけ排除した。さらに訓練期間を取り入れ、著しく課題遂行能力が劣るラットを電磁波曝露前に除外し、個体間差を少なくした。また、電磁波曝露後のラット体温上昇の有無と電磁波による auditory effect が生じないことを確認している。

電磁波が学習記憶に与える影響に対する確定的な結論を得るためにはさらなる研究が必要である。

表 10

	H. Lai et al, 1994	B. Wang et al, 2000	H. Yamaguchi et al
<i>Memory</i>	Working	Reference	Reference
<i>Maze</i>	Radial-Arm maze	Water maze	T-maze
<i>Animals</i>	S.D. rats	S.D. rats	S.D. rats
<i>Exposure system</i>	Cylindrical wave guide	Cylindrical wave guide	Carousel
<i>EMWs</i>	Pulsed 2,450 MHz 500 pulses/s	Pulsed 2,450 MHz 500 pulses/s	TDMA 1,439 MHz for PDC system
<i>Brain ave. SAR</i>	-	-	7.4 W/kg
<i>Whole Body ave. SAR</i>	0.6 W/kg	1.2 W/kg	1.4 W/kg
<i>Duration of Exposure</i>	45 min for 10 days	60 min for 6 days	60 min for 4 days
<i>Effect</i>	Deficit	Deficit	No

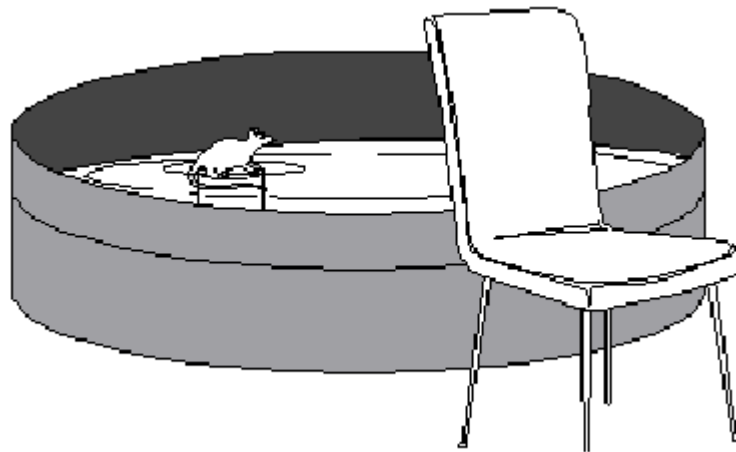


図 29 モリス水迷路

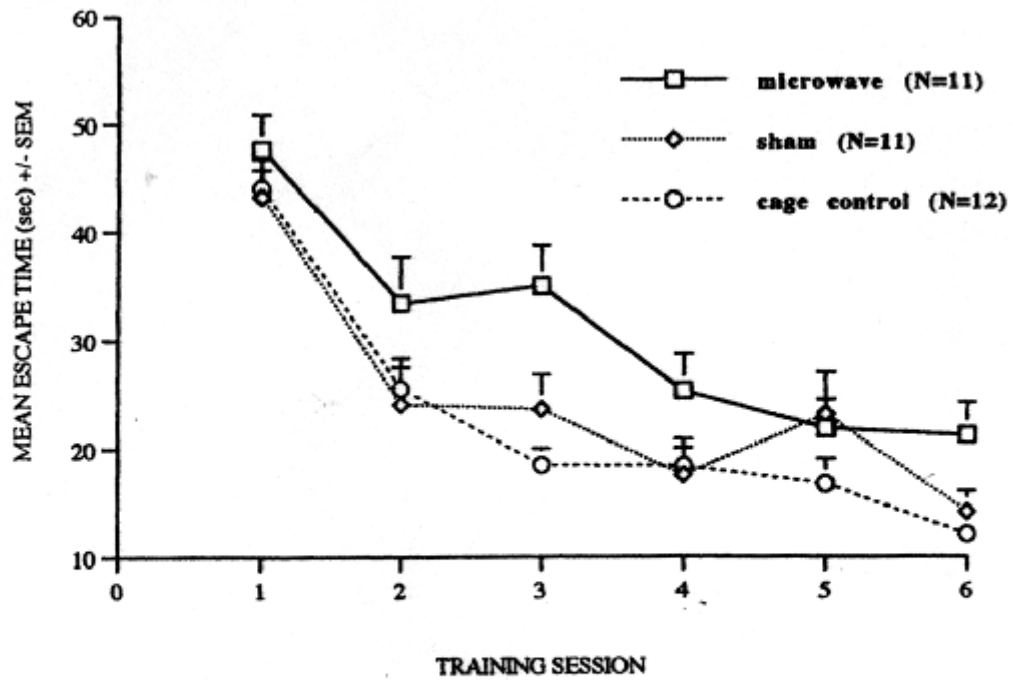


Fig. 1. Average escape time, i.e., time to reach the platform after release into the water, during the six training sessions of microwave, sham-exposed and cage control rats. N is the number of animals studied in each group.

図 30 文献[1]より抜粋

7. 文献

1. Lai, H., A. Horita, and A.W. Guy, *Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the rat*. *Bioelectromagnetics*, 1994. **15**(2): p. 95-104.
2. Wang, B. and H. Lai, *Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects water-maze performance of rats*. *Bioelectromagnetics*, 2000. **21**(1): p. 52-6.
3. Sienkiewicz, Z.J., et al., *Low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial learning task in mice*. *Bioelectromagnetics*, 2000. **21**(3): p. 151-8.
4. Bornhausen, M. and H. Scheingraber, *Prenatal exposure to 900 MHz, cell-phone electromagnetic fields had no effect on operant-behavior performances of adult rats*. *Bioelectromagnetics*, 2000. **21**(8): p. 566-74.
5. Ando, S. and Y. Ohashi, *Longitudinal study on age-related changes of working and reference memory in the rat*. *Neurosci Lett*, 1991. **128**(1): p. 17-20.
6. Chapman, J., et al., *Anti-neuronal antibodies similar to those found in Alzheimer's disease induce memory dysfunction in rats*. *Neuroscience*, 1991. **40**(2): p. 297-305.
7. Michaelson, S.M., *Biological effects and dosimetry of nonionizing radiation*. *Biological effects and health hazard of RF and MW energy; fundamentals and overall phenomenology*. 1983, New York: Plenum Press. 337-357.
8. Michaelson, S.M. and E.C. Elson, *Interaction of nonmodulated and pulse modulated radiofrequency fields with living matter: experimental results*. *Biological effects of electromagnetic fields*. 1996, FL: CRC Press. 435-533.