

ラットにおける放射状迷路課題の 習得過程と選択行動の特徴

筑波大学心理学系 岩崎 庸 男

筑波大学大学院 (博) 心理学研究科 平賀 義 裕¹⁾

Characteristics of acquisition process and choice behavior in the radial-arm maze task in the rat.

Tsuneo Iwasaki and Yoshihiro Hiraga (*Institute of Psychology, University of Tsukuba, Ibaraki 305*)

In order to clarify the characteristics of acquisition processes and choice patterns in the radial maze task, 197 rats were trained on an eight-arm, elevated radial maze until a learning criterion of at least 7 correct choices in the first 8 choices for 5 consecutive trials (days) was achieved. It was found that mean trials to criterion were 7.6 with a standard deviation of 4.99 trials. In the first "well-performed trials" in which the subjects began to show stable choice behaviors in an average of 2.2 trials from the beginning of the training, mean correct choices were 6.4. This was statistically superior to the expected random choice level without an immediate repeat (5.6). In the criterion trials, relatively large numbers of choices (46.3%) were made on the selection of adjacent arms, but the animals selecting adjacent arms in more than 90% of choices, were found only for approximately 2% of all subjects. These results suggest that rats are inherently predisposed to efficiently perform in this task. However, the cognitive map theory (O'Keefe & Nadel, 1978) was not supported by our results, because erroneous choices in the later choices of a trial were not concentrated in the entries to arms near the correct arm but distributed evenly to all arms. If the animals had possessed the cognitive map of the environmental cues, errors would have been likely to reflect a confusion on nearby spatial locations.

Key words: radial-arm maze, acquisition, rats

放射状迷路は、中央のプラットホームとこれに放射状に連結した複数のアーム（選択肢）からなる高架式迷路である。通常の手続では、すべてのアームの先端の餌皿に置かれた報酬をラットが自由にとることを許す。ラットは各アームの先端に行き、順次報酬を取っていく。実験者はこのラットの餌取り行動を、アームの選択順序として記録していく。最初に置かれた報酬すべてを取り終るまでを1試行と定義するが、ある試行内では取り終えた餌は補充されないの、最も効率の良い餌取り行動としては同じアームに再び入ることなくすべてのアームを選択していくことである。実際に訓練を重ねていくにしたがってラットはこのような効率の良い選択行動を示すようになる。

放射状迷路課題がOlton & Samuelson (1976) によって考案されて以来、この課題の特徴や、この課題の遂行に要する機能や中枢メカニズムについて

種々の実験が行なわれ、考察されてきた（平賀・岩崎, 1983; 岩崎, 1985; 岩崎・平賀, 1982; 岩崎・益田・平賀, 1981; Olton, 1979; Olton, Becker & Handelman, 1979）。とくにこの課題は、ラットの“記憶”を研究するために有用であり、そのことによって最近では“抗痴呆薬”の開発のためのスクリーニングにも多用されるようになってきている。

しかしこの放射状迷路課題は、従来の他の迷路課題とは強化の与え方が異なっているため、データの分析や解釈にあたって従来の迷路課題の結果はあまり参考にはならない。さらに放射状迷路課題は習得に要する試行数が短いことやアームの選択順序が比較的ランダムであることなどが特徴的であるといわれているが、それらを裏づける定量的なデータは示されていない。そこで本稿では、われわれがこれまでに得た8方向放射状迷路課題のデータを全体的に再吟味し、ラットの放射状迷路課題の習得過程と選択行動の特徴を定量的に捉えようとした。さらに比

1) 現在、ゼリア新薬工業中央研究所

較のために、12方向迷路でのデータについても若干の分析を行なった。

実験 I 8方向放射状迷路

方法

被験体 実験開始時に3～5ヶ月齢の実験経験のない Wistar-Imamichi 系の雄ラットを197匹用いた。食餌制限開始前の平均体重は424 gで、標準偏差(以下SDと略す)は53.1 gであった。

装置 本実験で用いた8方向放射状迷路は、中央のプラットフォームとこれに接続して8本のアーム(選択肢)が放射状に張り出している高架式迷路であるという点では、基本的に Olton & Samuelson (1976) のものと同じであるが、細部については多少異なっている。すなわち、本装置は灰色の塩化ビニル製で、プラットフォームの直径は37cm、アームは長さ60cm、幅が12cmであり、これらの床面の高さは50cmである。ラットの落下を防止するため、アームは高さ4cmの側壁に囲まれている。ただしこの側壁は、アームの入口から12cmのところまではラットがプラットフォームを経由せずに隣接したアームに直接移るのを防ぐため、高さが12cmになっている。アーム先端の床面には直径3cm、深さ1cmの穴を設け、報酬用の餌皿とした(Fig. 1)。各アームとプラットフォームは分離可能になっており、実験にあたっては毎日プラットフォームの方向を変えたり、アーム

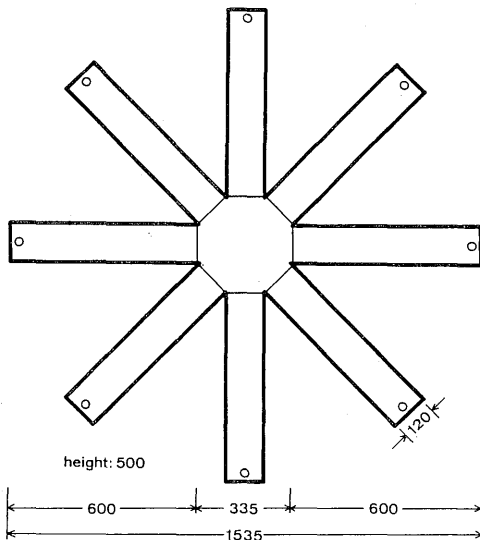


Fig. 1 A ground plan for the radial eight-arm maze. Numbers in the figure indicate length in mm.

ムの入れ換えを行なって、ラットが迷路内手がかりを用いにくいように配慮した。

実験はこの装置を350×250cmの実験室に置いて行なった。室内にはテーブル、流し、未使用のケージなどがあり、照明は天井にある40 Wの蛍光灯2本によった。プラットフォーム上の照度は135 lxであった。

実験手続 訓練開始1週間前に各ラットの体重を測り、個別ケージに移して制限給餌を開始した。実験期間中は各ラットとも自由摂食時の体重の80～90%になるように留意した。ちなみに訓練第1日目の実際の平均体重は、訓練開始1週間前の体重の84% (SD: 3.4%) であった。訓練開始4日前から4日間、各ラットに1日3分間のハンドリングを行なった。

習得訓練は1日1試行行なった。各試行においては、まずすべてのアームの餌皿に約50mgのペレットを1個ずつ入れ、ついでラットをプラットフォームの中央に置いた。この時のラットの頭の方向は、試行ごとにランダムに変えた。プラットフォームに置かれたラットは自由に各アームに入って餌を取ることが許された。正選択は、その試行において未選択のアームに入って餌を取る選択とした。また誤選択は、その試行における既選択のアームに入ることとした。各試行はラットが8個全部の餌を取り終るか、あるいは10分間経過した時点で終了とした。ラットをプラットフォームに置いてからその試行が終了するまでの時間を走行時間として記録した。習得(学習)基準は最初の8選択中7選択以上が正選択である日(試行)が5日連続することとした。

結果と考察

習得基準に達するまでの試行数(基準試行を含まず)は、平均7.6試行(SD: 4.99試行)であった。Fig. 2に習得基準に達するまでの各ラットの試行数の分布を示したが、ピークは4～5試行であり、半数のラットは6試行以内に習得基準に到達した。

訓練の初期には、アームの先端に行っても報酬を取らない場合やアームの途中からひき返す場合があった。これはラットが高架式迷路に十分に慣れていないために生ずると考えられる。しかし試行を重ねるにしたがってこのような行動は消失し、確実に各アームの先端に行っても報酬用の餌を食べるようになった。そこで確実な選択行動が出現するようになった試行(well-performed trial)までの試行数を求めてみたところ、平均2.2試行(SD: 1.39試行)であった。そして、このwell-performed trialから習得基準に達するまでの試行数を算出すると、平均

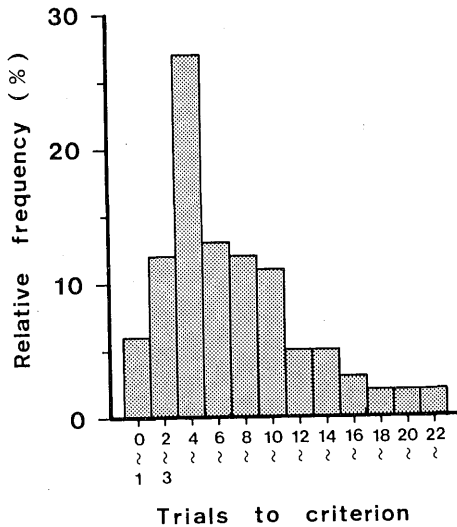


Fig. 2 Distribution of trials to learning criterion.

5.5試行 (SD : 4.72試行) であった。

習得基準に達するまでの試行数の少ないラットと多いラットでは習得過程にどのような差がみられるかという点について検討するために、well-performed trial から習得基準に達するまでの試行数が5~9試行のラット、10~14試行のラット、15試行以上のラットの群に分けて、それぞれの基準試行からさかのぼっての5試行ずつの正選択数を求めてみた。Fig. 3はこのbackward学習曲線を示したものである。基準試行直前の5試行においては、習得基準に達するまでの試行数が多い群の方が少ない群よりも正選択数が多かった。一方、各群の初期の正選択数はほぼ6.6選択であり群間に差はない。すなわち、速く習得基準に達するラットが訓練の初期から成績が良いとはいえない。以上の結果は習得基準に達するまでの試行数が、訓練初期の成績とは無関係であることを示している。

ところでFig. 3にみられるように、各群の訓練初期の正選択数が6.6であり、これはランダムにアームを選択するときの期待値の5.6(ただし同じアームを連続して選択しない場合の期待値, cf. Eckerman, 1980)をかなり上回っている値である。すなわち、ラットは訓練の初期からかなり良い選択成績を示している。この点をさらに明らかにするために、すべての被験体のwell-performed trialの第1試行の正選択数を求めて、Fig. 4に示した。図から明らかのように、50%以上のラットは7以上の正選択を示している。平均正選択数は6.43 (SD : 0.84)であり、これはランダムに選択する場合の期待値(5.6

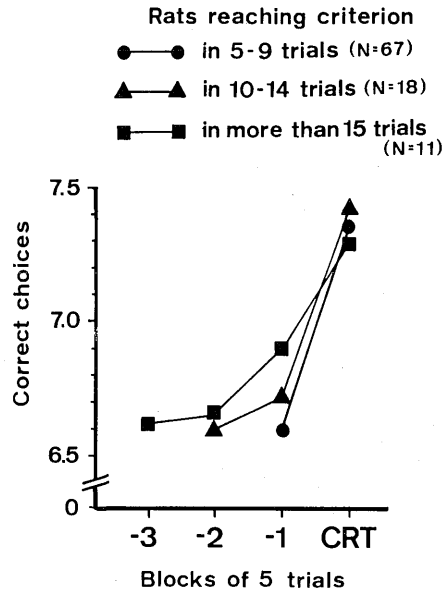


Fig. 3 Backward learning curves in the animals reaching learning criterion in 5-9 trials from the first well-performed trial, those in 10-14 trials and those in more than 15 trials.

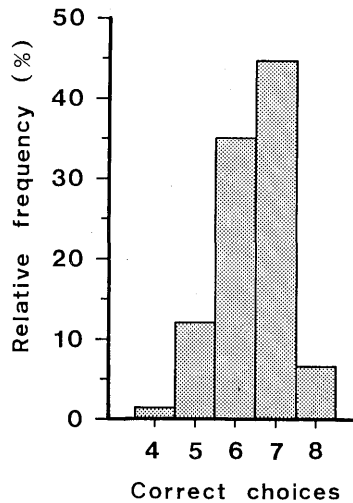


Fig. 4 Distribution of correct choices in the first well-performed trial.

正選択)よりは有意に優れていた ($t=13.83$, $df=196$; $p<0.001$). 以上の結果は、ラットは高架式迷路に慣れた時点ですでに効率の良い餌取り行動を示すことを示唆している。すなわち、ラットは本課題

では“訓練”されなくともある程度の効率の良い行動を示し、さらに効率の良い選択行動を示すには若干の訓練が必要であるといえよう。

なお、習得基準に達するまでの試行数と訓練第1日目の体重、あるいはこの体重の訓練開始1週間前の体重に対する比率との間の相関係数はそれぞれ0.058と-0.127であり、いずれも統計的に有意ではなかった。したがって、習得基準に達するまでの試行数は空腹動因の大きさには関係しないといえよう。また、well-performed trial までの試行数とwell-performed trial から習得基準に達するまでの試行数の間の相関係数は0.050であり、これも有意ではなかった。すなわち、放射状迷路に慣れるまでの試行数と本課題を習得するまでの試行数は互いに無関係であると考えられる。

次に基準試行でのデータについて分析を行った。基準試行における平均正選択数は7.3 (SD: 0.24) であった。また基準試行での平均誤選択数は1試行あたり1.7選択 (SD: 1.05選択) であった。

ところでこの放射状迷路課題では、ラットが同一のアームに繰り返し入ることなく餌を取っていけば、最も効率の良い選択ということになり、これが高い正選択数をもたらすことになる。このための方略としてわれわれが容易に思いつくのは、隣接したアームに次々と入っていくという方略である。種々の研究から実際にはラットはこのような方略を用いることは少なく、選択は主として迷路外の視覚の手がかりの配置関係を利用しており、アームに入る順序もかなりランダムで、しかも試行間で同じではないといわれている (cf. 岩崎ら, 1981)。この点を確かめるために、本実験での基準試行5試行の第2選択から第8選択までについて、直前の選択との選択距離を求めてみた。ただし選択の方向 (左回りあるいは右回り) は無視し、直前の選択と同じアームに再び入った場合の選択距離を0、隣接したアームに入った場合を1、2つめ (すなわち90°) のアームに入った場合を2、135°のアームの選択を3、180°の場合を4という5つのカテゴリーに分類した。全被験体をまとめてみると、選択距離0は0%、1は46.3%、2は32.9%、3は15.1%、4は5.8%であり、隣接したアームを選択する率が最も高く、距離が遠くなるにつれて選択率が減少する傾向が認められた。さらに個体ごとの各選択距離の相対度数の分布を求めて、Fig. 5に示した。この図は各選択距離の個体内の出現率を0~10%未満、10~20%未満というように10区間に分類して、それぞれの区間の相対出現率を算出したものである。図にみられるように、選択距離1については、この選択をほとん

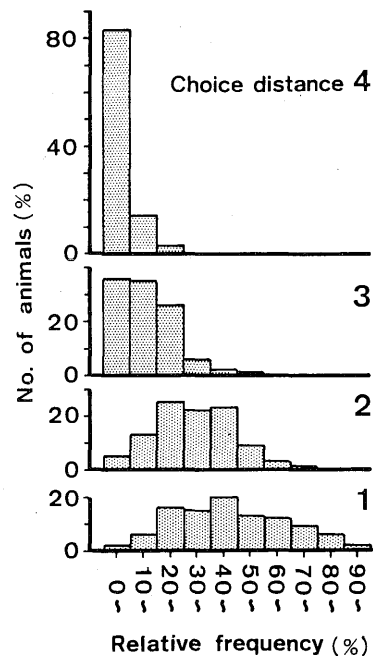


Fig. 5 Distribution of choice distances in the criterion trials. Data are expressed as % occurrence of individual rat's relative frequency of choice distance 1-4.

ど示さない個体からこの選択が90%以上である個体まで広く分布している。この選択が50%以上である個体は全体の40%を占めているが、90%以上である個体はわずかに2%にすぎなかった。なお選択距離1のみしか示さないラットは1匹もいなかった。さらに選択距離2から4にいくにしたがって分布は左に偏っていき、それぞれの選択距離の出現率が減少していくことがうかがえる。Pearsonら (1984) は隣接するアームの選択が連続して生ずる場合 (すなわち“run”がある場合) に重みづけをした“C”値を、隣接アームの選択の程度の指標としている。Cは0から1の範囲の値をとり、1に近いほど隣接アームの選択の程度が高いことをあらわす。本研究の基準試行の各試行の第1-8選択のデータについてこのC値を求めたところ、全被験体の平均は0.237 (SD: 0.192) であり、Fig. 6に示すように0.2以下の個体が全体の50%以上を占めていて、0.8以上のC値を示す個体は2%程度しかいなかった。これらの結果からラットは隣接するアームを比較的高頻度を選択する傾向を示すものの、隣接アームを次々と選択するという方略を採ることはほとんどないといえることができる。

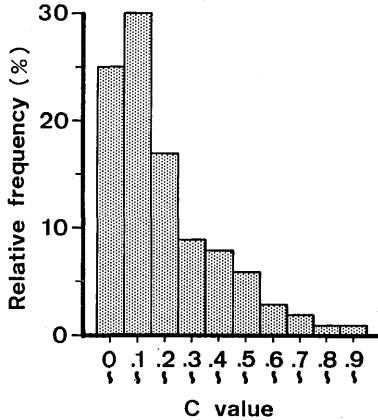


Fig. 6 Distribution of C values in the criterion trials. C value is the observed number of runs of adjacent arms divided by the total number of runs possible in the choice sequence, and varies between 0 and 1.0, with a higher value representing more adjacent-arm choices.

次に1試行に要する時間をみるために、基準試行における走行時間をまとめてみた。全被験体の走行時間の平均値は、135.6秒 (SD: 74.31秒) であった。Fig. 7に全体の分布を示したが、1試行に要する時間が90秒から120秒以内の個体が最も多く、半数のラットは120秒以内に試行を終えていることがわかる。なお1選択あたりの平均所要時間は14.0秒 (SD: 7.69秒) であった。

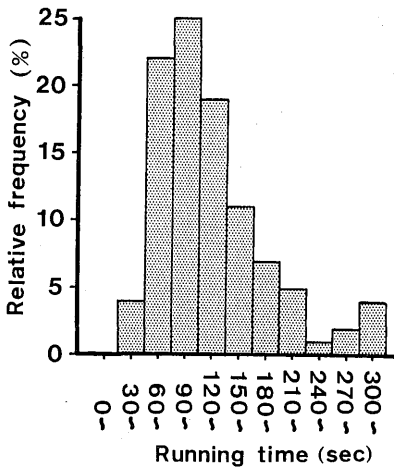


Fig. 7 Distribution of running times required to finish a trial in the criterion trials.

ところでこの放射状迷路における選択行動は、ラットが迷路外の事物の配置関係を手がかりにして行なっているといわれている (Suzuki et al, 1980). さらにラットは迷路外の事物の配置関係の写像 (認知地図) を脳内 (とくに海馬) に構成する能力を持っているという考えもある (O'Keefe & Nadel, 1978). 本実験において、もしラットが実験室の“地図”を持つようになったとすれば、ラットがアームの選択を重ねるにつれて未選択のアームおよびその近辺への選択確率が高くなっていくと考えられる。すなわち第7選択まで正選択であり、第8選択で初めて誤ったアームを選択した場合、そのアームが正しいアームの近くにある割合は高くなるであろう。この点を確認するために、第8選択で正選択となるアームと実際に選択したアーム (誤選択アーム) との選択距離を算出した。その結果、Table 1にみられるように、実際の選択距離はランダムに選択した場合の期待値とは異ならなかった ($\chi^2=1.26$, $df=3$, $p>0.05$)。したがって、認知地図仮説は支持されるとはいえない。ラットは迷路外の手がかりを利用していても、それらをヒトと同様な認知地図にしているのではなく、個々のアームの手がかりにしているにすぎないといえよう。もともとこの課題ではラットの“再認”テストを行なっているのだから、“認知地図”を想定する必要はないのかもしれない。

Table 1 Distribution of choice distances between correct and erroneously choiced arms at the 8th choice in the trials in which the first erroneous choice occurred at the 8th choice.

	Choice distance				Total
	1	2	3	4	
Observed	97	89	93	40	319
	(30.4 %)	(27.9 %)	(29.2 %)	(12.5 %)	
Expected	91	91	91	46	319
	(28.6 %)	(28.6 %)	(28.6 %)	(14.3 %)	

実験Ⅱ 12方向放射状迷路

方法

被験体 Wistar-Imamichi系の雄ラットを17匹用いた。実験開始時の平均体重は421.4g (SD: 33.36g) であった。

装置 プラットフォームの直径が46cm、12本の各アームの長さが60cm、幅が10cmである以外は実験Ⅰの8方向放射状迷路と同じである。

実験手続 本実験ではアームの数が12本あり、習得基準は最初の12選択中10選択以上が正選択である試行が5試行連続して出現することとした以外は、手続は実験Iと同様であった。

結果と考察

習得基準に達するまでの試行数の平均は、13.7試行 (SD: 7.23試行) であった。また前述した well-performed trial までの平均試行数は2.9試行 (SD: 1.94試行) であった。そしてこの well-performed trial から習得基準までの試行数は、平均10.8試行 (SD: 6.96試行) であった。これらの値について8方向迷路での結果と比較してみると、習得基準に達するまでの試行数と well-performed trial から習得基準までの試行数は12方向迷路課題の方が有意に多かった (それぞれ, $t=4.62$, $t=4.23$, いずれも $df=212$; $p<0.001$) が, well-performed trial までの試行数には有意な差は認められなかった ($t=1.91$, $df=212$; $p>0.05$)。

基準試行における平均正選択数は10.8選択 (SD: 0.54選択) であった。また基準試行での誤選択数は1試行あたり平均4.2選択 (SD: 2.67選択) であった。

12方向迷路における選択距離を8方向迷路の場合と同様に分析したところ、各選択距離の出現頻度は選択距離0が0%, 1が39.1%, 2が47.8%, 3が8.1%, 4が2.7%, 5が1.3%, 6が1.0%であった。すなわち、95%の選択が選択距離3 (選択角度90°) 以内のものであり、これは8方向迷路の場合の選択角度90°以内の出現率 (79.2%) よりも多い傾向であった。

基準試行における1試行に要する時間は平均で184.2秒 (SD: 121.59秒) であった。1選択あたりの時間は平均11.4秒 (SD: 7.51秒) であり、これは8方向迷路の場合の所要時間 (14.0秒) よりも若干短い傾向にあるものの、統計的な差は認められなかった ($t=1.33$, $df=212$; $p>0.05$)。

以上、12方向迷路課題では8方向迷路課題に比べて習得基準に達するまでにより多くの試行数を要したものの、その他の点では基本的には両課題におけるラットの選択行動は類似しているといえよう。

要 約

本研究は放射状迷路課題におけるラットの習得過程と選択行動の特徴を明らかにするために、われわれがこれまでに得たデータを種々の点について再吟味したものである。その結果、本課題の見かけ上の難度にもかかわらずラットは比較的少ない試行数で

本課題を習得し、訓練の初期においてもランダムレベルよりも良い選択成績を示した。基準試行における選択行動を分析した結果、ラットの選択は隣接アームの逐次選択といった反応連鎖方略にもとづくものではなく、かなり柔軟な選択であることが見い出された。しかし、ラットは正しいアーム近辺に選択を集中させるという傾向を示さなかったので、いわゆる認知地図仮説 (O'Keefe & Nadel, 1978) は支持されなかった。

引用文献

- 平賀義裕・岩崎庸男 1983 ラットの記憶研究における最近の動向—放射状迷路課題を中心として—
薬物・精神・行動, **3**, 99-108
- 岩崎庸男 1985 放射状迷路課題と向精神薬 田所作太郎 (編) 抗痴呆薬の探究—学習と記憶の動物実験—星和書店 pp. 61-71
- 岩崎庸男・平賀義裕 1982 動物の空間記憶とその中枢メカニズム (その2) 筑波大学心理学研究, **4**, 41-48
- 岩崎庸男・益田良子・平賀義裕 1981 動物の空間記憶とその中枢メカニズム 筑波大学心理学研究, **3**, 79-86
- O'Keefe, J., & Nadel, L. 1978 *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford: Clarendon Press.
- Olton, D. S. 1979 Mazes, maps and memory. *American Psychologist*, **34**, 583-596
- Olton, D. S., & Samuelson, R. J. 1976 Remembrance of places passed: Spatial memory in rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **2**, 97-116
- Olton, D. S., Becker, J. T., & Handelmann, G. E. 1979 Hippocampus, space, and memory. *Behavioral and Brain Sciences*, **2**, 313-322
- Pearson, D. E., Raskin, L. A., Shaywitz, B. A., Anderson, G. M., & Cohen, D. J. 1984 Radial arm maze performance in rats following neonatal dopamine depletion. *Developmental Psychobiology*, **17**, 505-517
- Suzuki, S., Augerinos, G., & Black, A. H. 1980 Stimulus control of spatial behavior on the eight-arm maze in rats. *Learning and Motivation*, **11**, 1-18