

ダイナミックに変動する報酬価値をコードする線条体ニューロンの探索

豊島 理 (筑波大学 生物学類) 指導教員: 松本 正幸 (筑波大学 医学医療系)

導入

我々ヒトは、日常生活の中で得られる報酬の価値を最大化するように行動する。その神経メカニズムを解明するため、これまで多くの研究が線条体を含む脳の様々な領域のニューロンから神経活動を記録し、報酬価値(得られる報酬が多いのか少ないのか等)に関する情報をコードしていることが示されてきた。一方、日常生活の中では、時間とともに得られる報酬の価値がダイナミックに変動する場合が多く、行動の最適化のためには変動する価値をモニターする仕組みが必要であると考えられる(例えば、料理をしているときに丁度良い焼き加減で肉をフライパンから上げる、自宅で映画鑑賞をする際に部屋や画面の明るさを調節して丁度良い音量に設定する場合等)。しかしながら、ダイナミックに変動する価値が脳内でどのようにコードされているのかについては明らかにされてこなかった。

本研究では、ダイナミックに変動する価値をモニターする神経メカニズムを解明するため、報酬価値をコードすることが知られている線条体領域から神経活動を記録し、ダイナミックに変動する価値の表現様式について解析した。

方法

行動課題実行中のニホンザル(*Macaca fuscata*)一頭において、金属電極を線条体領域に刺入し、細胞外記録法によるシングルユニットレコーディングを行った。

行動課題

以下に示す control 課題と、メイン課題である increase 課題/decrease 課題の3つの条件の行動課題をサルに行わせた。3種類の課題はそれぞれ独立したブロックでサルに行なわせた。

< control 課題 >

0.1 ml, 0.2 ml, 0.3 ml の液体報酬(それぞれ small, medium, large) を予告する3つの視覚刺激(バー)のうち1つだけをランダムにサルが見えているモニターに 2900ms 呈示し、その間サルがバーを注視し続けることに成功すると、刺激に対応した液体報酬が与えられた(図1)。緑のバーが長いほど得られる報酬が多い。

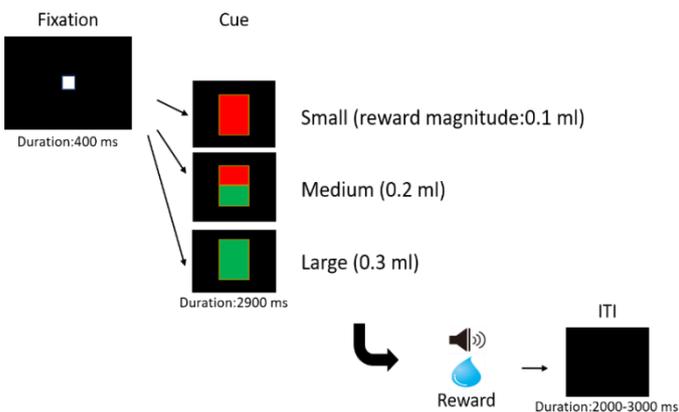


図1. control 課題

< increase / decrease 課題 >

control 課題同様にバーが呈示されるが、そのバーは0~2450 ms のあいだ伸びる (increase 課題) あるいは縮む (decrease 課題)。バーは control 条件同様合計で 2900 ms 呈示され、その間サルがバーを注視し続けることに成功すると、バーの長さに対応した量の液体報酬が与えられた。バーの伸縮がいつ止まるのかは、サルには予測できないようになっている。バーは常に一定の速度で伸縮をする(図2は increase 課題の例)。

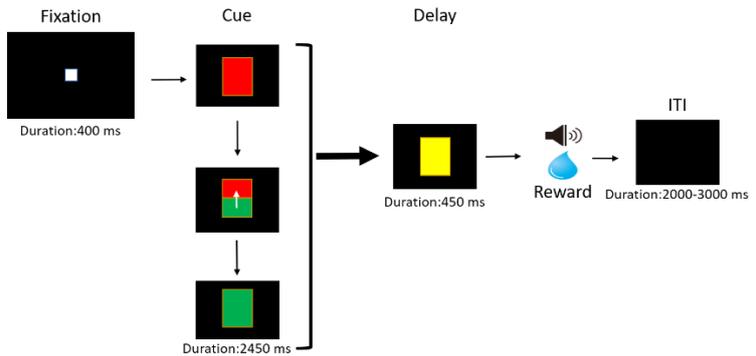


図2. increase 課題 decrease 課題では、バーは最も長い状態から徐々に短くなってゆく。

結果

線条体からは全部で 106 個のニューロンについて活動を記録した(2018/01/12 現在)。そのうち、40 個(38%)が control 課題において報酬価値をコードしており、大きな報酬価値が呈示されたときに大きな活動上昇を示す positive coding ニューロンと、小さな報酬価値が呈示されたときに大きな活動上昇を示す negative coding ニューロンが見つかった(単回帰分析、 $p < 0.01$)。control 課題で価値コーディングしていたニューロンの中で、1: increase 課題/decrease 課題実行中、バーの変化に合わせて(つまり価値の変化に合わせて)ダイナミックに発火頻度を減少若しくは増加させるニューロン、2: 報酬価値の決定後(バーの伸縮停止後)に価値に応じて発火頻度を変化させるニューロン、3: 1 と 2 両方の特性を持つニューロンが見つかった(25/106 = 24%)。一方、control 課題で報酬価値をコードしていないニューロン(単回帰分析、 $p > 0.01$)にも上記の1, 2, 3のタイプが見つかった(9/106 = 8%)。

考察

以上の結果から、ダイナミックに変化する報酬価値をコードする線条体ニューロンは存在すると考えられるが、その価値コーディングの様式は、ダイナミックに変動する価値を online でコードする場合(上述した1のタイプ)や、変動が終了した際にコードする場合(2のタイプ)、両方の特性を持つ場合(3のタイプ)など、ニューロン毎に様々であると推測される。