

## 時間評価に関する神経心理学的研究の展望

橋本優花里・松田文子

ある出来事が生じてから時間がどのくらいの速さで過ぎるのか、あるいはどれくらいの時間が過ぎたのかという主観的時間に関する内的な経験は、心理的時間と呼ばれる。これまでの研究から、心理的時間の評価は様々な神経学的損傷や精神疾患によって障害されることが明らかになっているが、その研究の数は十分とはいいがたく、また、障害傾向が必ずしも研究間で一致しているとは限らない。本稿では、神経心理学的領域における心理的時間研究を概観し、心理的時間の障害から心理的時間の構成とその脳内の局在について考えるとともに、今後の時間評価に関する神経心理学的研究の課題について考える。

【キーワード 心理的時間, 時間知覚, 時間評価,】

### はじめに

時間は人間誰にでも均等に与えられたものであるとよく言われる。国籍, 年齢, 性別を問わず, 誰もが 24 時間という時間を持っており, その中で生活をしている。しかし, 物理的には同じ 24 時間であっても, 私たちの時間に関する感覚はそのときの環境や内的状況によって変わってくる。あるときは時間が早く過ぎたと感じ, あるときはいつまでも時間が経たないような気がすることもある。このような, ある出来事が生じてから時間がどのくらいの速さで過ぎるのか, あるいはどれくらいの時間が過ぎたのかというわれわれの内的な経験は, 心理的時間あるいは主観的時間と呼ばれる(Meck, 2004)。

心理的時間の研究では, 外的な時計を使わずに内的な時計によって客観的な時間を評価させる。そして, 計時する時間の長さによって, その評価を時間知覚(time perception)と呼ぶか, 時間評価(time estimation)と呼ぶかが異なる。一般に, 5 秒以内の心理的現在の範囲内の時間についての評価を時間知覚と呼び, その範囲を超えた長い時間は時間評価と呼ぶ(松田, 1996)。時間知覚と時間評価ではそのメカニズムが異なっているとされるものの, ある時間を境として知覚と評価が明確に分かれるわけではない。それゆえ, 時間知覚と時間評価の研究方法はかなり共通している。松田(1996)によれば, 一対比較法, カテゴリー評価法, マグニチュード評価法, 再生法, 言語的見積もり法, 作成法, 道具的時間条件付けなどが代表的なものである。それぞれの具体的方法については, 表 1 に示した。

---

本研究は, 平成 18 年度科学研究費補助金 ( 基盤研究 (B)) 課題番号(18330143)の補助を受けた。

表1 心理的時間の研究手法

一対比較法	提示された、あるいは経験した2つの時間の長さを比較判断させる。
カテゴリー 評価法	1つの持続時間を提示して、「長い」「中ぐらい」「短い」など、何段階かのカテゴリーのいずれかに当てはめさせる。
マグニチュード 評価法	ある長さの時間を標準刺激としたとき、別の時間の長さを標準刺激と比較して数値で表す。
再生法	実際に提示された、あるいは経験した持続時間と主観的に同じになるように、キー押しなどで時間を再生する。
言語的 見積もり法	実際に提示されたあるいは経験した持続時間を、秒、分、時間などの単位を用いて見積もる。
作成法	秒、分、時間などの単位を用いてある時間の長さを言葉で提示し、その時間と主観的に等しいと思う時間を作成させる。
道具的 条件付け	ある一定の長さの時間を経たあとの反応に強化を与えたり、ある一定の長さの時間以上反応を続けた際に強化を与える。

神宮(1996)によると、時間の知覚や評価は五感を通して行われるものではなく、われわれの内的な情報処理に依存する。しかし、何を情報として処理しているのかについては、時間知覚あるいは評価が人間の情報処理のどのレベルで行われていると考えるかによって異なる。時間知覚あるいは時間評価のモデルは、時間評価を認知レベルでとらえる認知的処理モデルと感覚レベルでとらえる感覚的処理モデルの二つに大別できる。認知的処理モデルでは、時間の中に含まれている時間とは無関係な情報の処理結果によって時間が知覚されると仮定する。時間が長ければ、その中に含まれる情報も多くなり、処理される情報も多くなる。したがって、処理された情報が多くなればなるほど、時間が長いと知覚される。また、時間と関係のある情報のみが含まれている場合は、時間が短いと知覚されるとする(神宮, 1996)。

感覚的処理モデルでは、人間には時計と同じ機構が存在すると考え、その機構として等間隔のパルスを発生するペースメーカーと、そのパルスを数えて記憶するアキュムレーターやカウンターを仮定する(神宮, 1996)。感覚的処理モデルの代表的なものとしては、Scalar expectancy theory(SET)モデルと、attentional-gate theory(AG)モデルがある(Coehlo, Ferrieira, Dias, Sanpaio, Martins, & Castro-Caldas, 2004)。SETモデルについては、多くの神経心理学的な時間評価の研究で取り扱われているため、ここで簡単に説明する。図1はSETモデルを示したものである。SETモデルでは、時間評価は、内的時計、記憶、決定の3つの主要な段階からなると考えられる。内的時計はペースメーカー、スイッチ、アキュムレーターの3つの部分を持ち、ペースメーカーはパルスを発し、アキュムレーターはスイッチが閉じることによってパルスを集積する。スイッチの開閉には注意が影響を及ぼす。つまり、生

## 時間評価に関する神経心理学的研究の展望

体が時間に注意を払うことでスイッチは閉じ、アキュムレーター内にパルスを集積する回路が作動する。集積されたパルスは、イベントの持続時間を記録するために、記憶段階の参照記憶内に貯蔵される。決定段階では、アキュムレーターと参照記憶からのサンプルが決定段階に送られ、現在の持続時間(パルスによる記録)と参照記憶内に貯蔵された過去のターゲットの持続時間と比較が行なわれる。

これまでの動物実験研究や神経心理学的研究の結果から、内的時計と記憶の段階が脳内のどこに局在するかも仮定されている。内的時計は、前頭葉～基底核の回路に局在すると考えられており、ドーパミンの影響を受ける。ドーパミン拮抗薬は、内的時計のスピードを変化させ、反応の遅延や時間の過少見積もりなどを引き起こす。これらの効果は迅速で、フィードバックの影響を受ける。記憶は皮質と海馬のコリン作動性システムの回路に依存するとされている。フィゾスチグミンのようなコリン作動薬は、アキュムレーターの値の歪みを引き起こし、参照記憶内の時間表象があたかも短くなったような、ターゲット時間の過少再生や呈示された時間の過剰見積もりを生じさせる。記憶段階における投薬の効果は、時計段階とは反対に漸次的でゆっくりであり、フィードバックへの耐性が強いとされている。

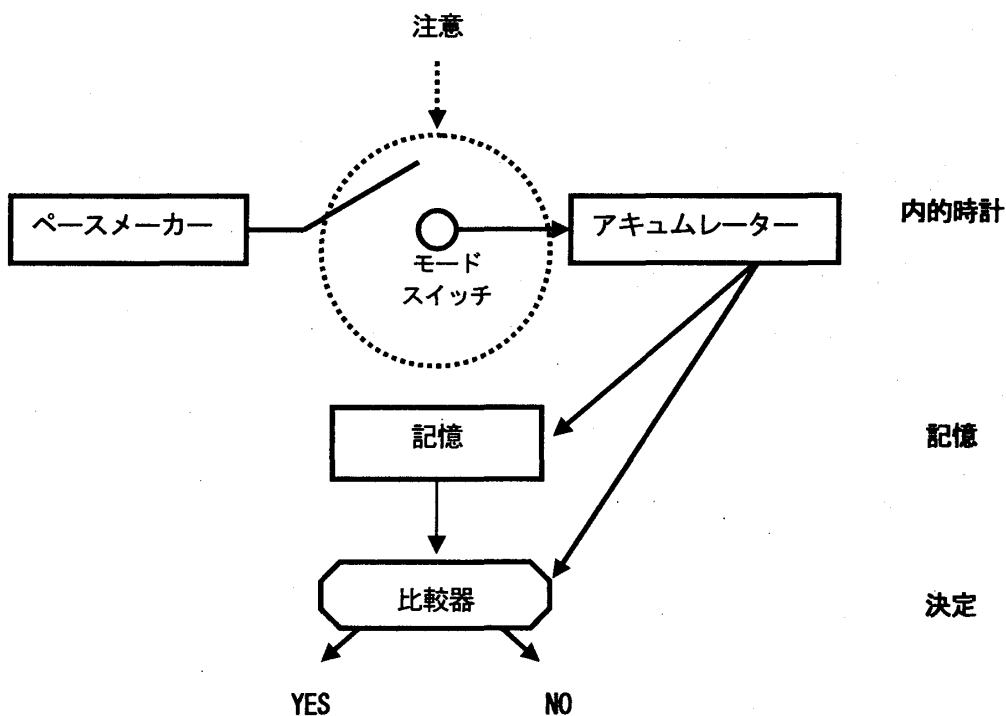


図 1 SET モデルによる時間評価の情報処理過程(Lustig & Meck, 2005; Penny, Meck, Roberts, Gibbon, & Elenmeyer-Kimling, 2005)

松田(1996)は、わが国における健常者を対象とした時間知覚や時間評価の研究やその発達的研究、そして心理的時間にかかわりがあるとされるテンポやリズム、タイミングや間に関する研究などをとりまとめ、心理的時間の特徴について多角的に論じている。しかし、神経心理学領域を含めた心理的時間の障害やそこから示唆される心理的時間評価の脳内の局在化については、わが国においてその研究がほとんど行われていないため取り扱っていない。そこで本論文は、欧米での心理的時間に関する神経心理学的研究について、2005年の *Brain & Cognition* の特集を中心に概観することを目的とする。なお、研究を記述するにあたって、本論文では、5秒以内の時間評価を行った場合を時間知覚とし、それを越えた時間評価については時間評価と呼ぶこととする。

### 心理的時間に関する神経心理学的研究

これまで、心理的時間の評価は、その構成要素が注意や記憶といった認知機能と独立であるのかわからなかった。しかし、近年の時間評価の障害に関する神経心理学的研究や健常者を対象とした時間評価の脳機能研究から、心理的時間の評価は、認知、行動そして運動の基礎的要素であり、注意、記憶そしてそのほかの認知的機能と深く結びついていることが明らかになっている(Coelho et al., 2004; Meck, 2005)。

時間知覚あるいは時間評価の障害は、様々な精神疾患で見られる。統合失調症患者を対象とした研究は、統合失調症患者が持続時間を過大評価したり、指示された時間を過小に作成あるいは再生することを明らかにしている。たとえば、言語的見積もり法によってある持続時間を見積もらせた場合、その時間よりも長くなったり、作成法や再生法によってある時間を作成、再生させた場合、基準時間より短くなる(Penny, Meck, Roberts, Gibbon, & Erlenmeyer-Kimling, 2005)。Penny et al. (2005)は、両親のいずれかが統合失調症であるハイリスク統合失調症患者と両親のいずれかが気分障害であるハイリスク気分障害患者、および健常者を対象として、カテゴリ評価法による時間評価課題を実施した。参加者は、まず視覚的あるいは聴覚的に提示された6秒と3秒の時間を「長い」あるいは「短い」のいずれかに分類したあと、3秒から6秒の間を7段階の長さで変化させた聴覚的刺激や視覚的刺激を「長い」あるいは「短い」のどちらかに分類した。その結果、すべての参加者において、「長い」と「短い」のどちらにも分類されうる同じ長さの視覚刺激と聴覚刺激では、視覚刺激のほうを「短い」と分類する確率が高いことが明らかになったが、統合失調症患者ではその傾向が顕著であった。このことから、Penny et al. (2005)は、視覚刺激と聴覚刺激では時計の速さが異なり、時計の速さの違いはパルスの集積率に影響を及ぼす注意量に依存するのではないかとしている。

統合失調症患者に見られる時間の過大評価あるいは過小生成は、統合失調症患者の内的時計が健常な場合よりも早く動いているために生じるとされている。つまり、主観的な時間が

## 時間評価に関する神経心理学的研究の展望

客観的な時間よりも早く過ぎるために、時間の過大評価や過小生成が行われると考えるのである。これまでの研究から、このような内的な時計のスピードの制御には、ドーパミン作動性のシステムが関わっていることが明らかになっている(Lustig & Meck, 2005)。Lustig & Meck(2005)は、向精神薬の投与歴がない健常者5名と、神経症の治療の為にドーパミン拮抗薬である低量のハロペリドールを慢性的に投与されている患者5名について、投薬の効果とフィードバックの効果を検討した。その結果、ハロペリドールの投与を受けた参加者は時間を過大再生するものの、フィードバックの直後には時間を正確に再生できることが明らかになった。このことから、ドーパミンの分泌が内的時計に影響を及ぼすことが示唆された(Lustig & Meck, 2005)。

精神疾患に伴う時間評価の障害の研究では、このほか、うつ病患者を対象としたものが多くある。例えば、双極性障害では、現在の症状が躁状態にあるのかうつ状態にあるのかによって、時間評価の歪み方が異なることが明らかになっている。つまり、うつ状態であれば時間評価はゆっくりとしたものになり、躁状態であれば反対に速くなることが知られている。しかし、時間評価においてどの段階でどのような障害が起こっているかについては明らかでない見解が得られておらず、これらの切り分けができる精度の高い研究が必要である(Meck, 2005)。

神経学的損傷が時間評価や時間知覚にもたらす影響を検討した研究はあまり多くない。内的時計に関与するとされる大脳基底核の損傷の影響を調べたものには、Perbal, Deweer, Pillon, Vidaihet, Dubois, & Pouthas(2005), Jourkowski, Stepp, & Hackley (2005), Spencer & Ivy (2005), Aparicio, Diedrichsen, & Ivry (2005), Shin, Aparicio, & Ivry (2005)がある。

Perbal et al. (2005)は、投薬中のパーキンソン病患者を対象に、再生法と作成法による時間評価課題と、注意と記憶の神経心理学的検査を行った。その結果、再生法ではパーキンソン病患者の評価時間が統制群に比べて短くなり、注意と記憶の障害の程度によって再生時間に変動が見られた。このことから、ドーパミン作動薬は内的時計のスピードを速める可能性が示された。また、ドーパミン作動薬の効果が少ない重度のパーキンソン病患者においては、再生法での成績にばらつきが見られたため、ドーパミンが記憶に作用する可能性も示唆された。また、Jourkowski, Stepp, & Hackley (2005)は、パーキンソン病患者と健常者を対象に、前額に空気を吹き付けるあるいは両耳にホワイトノイズを提示するといった強制反射刺激に伴って事前に提示される警告信号の効果を、EMGによって測定した。警告信号の潜時には1.0秒、2.5秒、4.0秒、6.5秒の4つがあった。その結果、強制反射刺激に対する瞬きという不随意反射では、すべての参加者において警告信号の効果は見られなかったものの、手を握るという随意反射では、パーキンソン病患者にのみ警告信号の効果が認められなかった。つまり、パーキンソン病患者は、随意的な反応を導くために警告信号の潜時に関する時間的

情報を知覚し、利用することができなかつたのである。このことは、高次の随意的な行動に伴う内的計時処理がドーパミン作動性のシステムであることを裏付けている。

一方、Spencer & Ivry(2005)は、投薬中と投薬を一時やめた場合でのパーキンソン病患者のタイミング学習について、メトロノームの音にあわせて連続的に円を描く課題、途中で休止をはさみながら円を描く課題、そして指のタッピング課題の3つの課題を用いて検討した。その結果、投薬中か否かに関わらず、パーキンソン病患者と統制群の間にパフォーマンスの違いは認められなかつた。また、Aparicio, Diedrichsen, & Ivry (2005)は、線条体を含む大脳基底核に損傷を持つ患者に3つの動作課題を実施した。1つ目の課題は、運動野の評価のために人差し指でできるだけ早くタッピングするものであり、損傷群は損傷側と対側の指でタッピングを行ったときに統制群と比較して速度が遅くなる傾向が認められた。二つ目と三つ目の課題は、大脳基底核の機能であるタイミングの評価と力の制御にかかわるものであった。タイミングの評価を行う課題では、参加者はメトロノームに合わせてタッピングを行い、力の制御課題では歪みゲージの操作を行った。その結果、損傷群は統制群とほぼ同様のパフォーマンスを示し、大脳基底核に内的計時が局在するという仮説は支持されなかつた。さらに、Shin, Aparicio, & Ivry(2005)は、梗塞によって片側の大脳基底核に損傷を持つ患者に、各刺激の空間的位置や時間間隔に基づいて反応する系列反応時間課題を行なった。統制群と比較して、損傷群は空間および時間的な学習、およびそれらの組み合わせの学習に問題を示さなかつた。この結果は大脳基底核の機能不全の代表として取り上げられるパーキンソン病患者の結果とは異なるものであり、パーキンソン病患者が果たして大脳基底核機能の研究の対象とされるべきかどうかについて疑問が投げかけられている(Shin, Aparicio, & Ivry, 2005)。

大脳基底核以外の損傷を扱った研究として、Spencer, Zelaznik, Diedrichsen, & Ivry(2003)と Melgire, Ragot, Samson, Penney, Meck, & Pouthas(2005)がある。Spencer et al.(2003)は、Spencer & Ivry(2005)と同様の課題を小脳損傷の患者に実施した。その結果、小脳損傷群は、途中で休止をはさみながら円を描く課題と指のタッピング課題に障害を示した。Spencer et al.(2003)および Spencer & Ivry(2005)は、タイミング学習には創発学習と事象関連学習の二種類があり、断続的に円を描く課題と指のタッピング課題は事象関連学習であると考えている。そして、Spencer et al.(2003)および Spencer & Ivry(2005)の結果から、小脳損傷患者は事象に関連したタイミング学習に失敗するが、大脳基底核患者はいずれのタイミング学習にも障害を示さないとしている。

Melgire et al. (2005)は、左右いずれかの中側頭葉の切除術を行った患者に、持続時間のカテゴリー評価課題を実施した。参加者は、視覚的あるいは聴覚的に提示された2秒と8秒の刺激を「短い」か「長い」のいずれかに分類したあと、2秒から6秒の間を7段階の長さで変化させた聴覚的刺激や視覚的刺激を「長い」あるいは「短い」のどちらかに分類した。そ

## 時間評価に関する神経心理学的研究の展望

の結果、すべての参加者において視覚刺激をそれと同等の長さの聴覚刺激に比べて「短い」と判断する確率が高いことが明らかになった。この結果は、Penny et al. (2005)と同様の結果であり、側頭の切除はモダリティ効果に影響を及ぼさないことが示唆された。さらに Melgire et al. (2005)は、側頭葉切除による内的時計の影響を検討するため、同じ参加者を対象として、持続時間を変化させた 50~200ms のごく短い聴覚刺激のカテゴリー評価課題を実施した。その結果、右側頭葉切除患者において判断のばらつきが見られ、右側頭葉が時間知覚弁別の決定に関与していることが示唆された。

以上のような神経心理学的研究のほか、時間評価研究には、加齢の効果を検討した研究 (Coelho et al., 2004; Rakitin, Stern, & Malapani, 2005)や時間知覚におけるラテラルティ研究 (Grondin & Girard, 2005)などがあるが、これらについては別の機会に譲りたい。

### 結語

時間評価および時間知覚における神経心理学的研究は、心理的時間評価の構成要素である内的時計の特徴とその局在を検討するために行われているものが多い。これまでの研究結果から内的時計の局在は脳基底核であると考えられているため、研究の対象は、統合失調症患者やパーキンソン病患者が主である。しかし、Spencer & Ivry(2005)や Aparicio, Diedrichsen, & Ivry (2005)の研究に示されたように、同じパーキンソン病患者でもすべての心理的時間課題に障害を示すわけでないし、Shin, Aparicio, & Ivry(2005)が示したようにパーキンソン病患者のパフォーマンスが脳基底核損傷の患者のそれとは異なるという結果もあり、内的時計がドーパミン分泌の影響を受けるということに関しては一致しているものの、その機能局在という点においては結論が出ているとは言いがたい。また、脳基底核以外の損傷部位を対象とした研究はほとんどないため、脳基底核以外が内的時計やそのほかの構成要素にどのような役割を果たすのかわからない。さらに、心理的時間評価は注意や記憶といった高次の認知機能と深くかかわっているとされているものの、注意障害や記憶障害の程度と心理的時間評価の障害の関連性について言及している研究はあまりない。Perbal et al.(2005)によれば、注意と記憶の障害の程度によって時間評価の精度に違いが出る。したがって、これらの高次認知機能の障害と時間評価の関連性をさらに検討する必要もあるだろう。

以上の点をふまえると、今後はより種々の症状あるいは損傷領域を持つ選択的な患者集団を対象として様々な時間評価法を用いた研究がなされるべきであろうし、内的時計に焦点を当てるだけでなく、その他の記憶、決定と言った構成要素についても検討されなければならない。また、今回概観した研究は主に SET モデルに基づいていたが、SET モデル以外のモデルにあてはめた結果の説明可能性も検討する必要があるだろう。そして、時間評価については、松田(1996)に示されたように、発達的研究も多くある。一度獲得された時間評価が脳の損傷によってどのように崩壊するのか、そしてそれはかつての発達段階でどの段階を示す

のか、発達の知見と神経心理学的知見の両方から検討することも重要であろう。

#### 引用文献

- Aparicio, P., Diedrichsen, J., & Ivry, R. B. (2005). Effects of focal basal ganglia lesions on timing and force control. *Brain and Cognition*, 58, 62-74.
- Brown, S. M., Kieffaber, P. D., Carroll, C. A., Vohs, J. L., Tracy, J. A., Shekhar, A., O'Donnell, B. F., Steinmetz, J. E., & Hetrick, W. P. (2005). Eyeblink conditioning deficits indicate timing and cerebellar abnormalities in schizophrenia. *Brain and Cognition*, 58, 94-108.
- Coelho, M., Ferreira, J. J., Dias, B., Sampaio, C., Martins, I. P., & Castro-Caldas, A. (2004). Assessment of time perception: The effect of aging. *Journal of International Neuropsychological Society*, 10, 332-341.
- Grondin, S. & Girard, C. (2005). About hemispheric differences in the processing of temporal interval. *Brain and Cognition*, 58, 125-132.
- 神宮英夫 (1996). 1章 時間知覚 松田文子・調枝孝治・甲村和三・神宮英夫・山崎勝之・平 伸二(編著)心理的時間 北大路書房 Pp.1~34.
- Jurkowski, A., Stepp, E., & Hackley, S. A. (2005). Variable foreperiod deficits in Parkinson's disease: Dissociation across reflexive and voluntary behaviors. *Brain and Cognition*, 58, 49-61.
- Lustig, C. & Meck, W. H. (2005). Chronic treatment with haloperidol induces deficits in working memory and feedback effects of interval timing. *Brain and Cognition*, 58, 9-16.
- 松田文子 (1996). 序章 現代のアクグスティヌス 松田文子・調枝孝治・甲村和三・神宮英夫・山崎勝之・平 伸二(編著) 心理的時間 北大路書房 Pp.1~34.
- Meck, W. H. (2005). Neuropsychology of timing and time perception. *Brain and Cognition*, 58, 1-8.
- Melgire, M., Ragot, R., Samson, S., Penney, T. B., Meck, W. H., & Pouthas, V. (2005). Auditory / visual duration bisection in patients with left or right medial-temporal lobe resection. *Brain and Cognition*, 58, 119-124.
- Penny, T. B., Meck, W. H., Roberts, S. A., Gibbon, J., & Erlenmeyer-Kimling, L. (2005). Interval timing deficits in individuals at high risk for schizophrenia. *Brain and Cognition*, 58, 109-118.
- Perbal, S., Deweer, B., Pillon, B., Vidailhet, M., Dubois, B., & Pouthas, V. (2005). Effects of internal clock and memory disorders on duration reproductions and duration production in patients with Parkinson's disease. *Brain and Cognition*, 58, 35-48.



## 時間評価に関する神経心理学的研究の展望

- Rakitin, B. C., Stern, Y., & Malapani, C. (2005). The effect of aging on time reproduction in delayed free-recall. *Brain and Cognition*, 58, 17-34.
- Shin, J. C & Aparicio, P. Ivry, R. B. (2005). Multidimensional sequence learning in patients with focal basal ganglia lesions. *Brain and Cognition*, 58, 75-83.
- Spencer, R. M. C. & Ivry, R. B. (2005). Comparison of patients with Parkinson's disease or cerebellar lesions in the production of periodic movements involving event-based or emergent timing. *Brain and Cognition*, 58, 84-93.
- Spencer, R. M. C., Zelaznik, H. N., Diedrichsen, J., & Ivry, R. B. (2003) Disrupted timing of discontinuous movements by cerebellar lesions. *Science*, 300, 1437-1439.

### Neuropsychology of psychological time

Yukari Hashimoto & Fumiko Matsuda

Psychological time is the internal experience of how fast time is passing or how much time has passed since the occurrence of an event. Although many studies reported the abnormality of psychological time estimation in patients with psychiatric disorder or brain damage, there is little consensus among the studies. This paper overviews previous neuropsychological studies on psychological time estimation and discusses the sources of psychological time and their localization.

Keywords: psychological time, time estimation, time perception