

Fisioter Bras 2016;17(2):164-70

REVISÃO

Modelos de percepção do tempo: um novo paradigma para o fisioterapeuta

Time perception models: a new paradigm for the physical therapist

Francisco Elezior Magalhães*, Jéssica Alves Ribeiro*, Kaline de Melo Rocha*, Victor Hugo Bastos**, Marco Orsini***, Francisco Victor Costa Marinho****, Antonio Thomaz de Oliveira****, Fernando Lopes e Silva Júnior*****, Silmar Teixeira*****

*Laboratório de Mapeamento e Plasticidade Cerebral, Universidade Federal do Piauí (UFPI),

Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade (UFPI), Programa de Mestrado em Ciências Biomédicas (UFPI), *Programa de Mestrado em Ciências da Reabilitação (UNISUAM/RJ), ****Laboratório de Mapeamento e Plasticidade Cerebral (UFPI), Laboratório de Genética e Biologia Molecular (UFPI), *****Escola de Medicina (UFPI), *****Laboratório de Mapeamento e Plasticidade Cerebral (UFPI), Programa de Mestrado em Ciências Biomédicas (UFPI), Programa de Mestrado em Biotecnologia (UFPI)

Recebido em 18 de maio de 2015; aceito em 20 de dezembro de 2015.

Endereço para correspondência: Victor Hugo Bastos, UFPI, Av. São Sebastião, 2819 UFPI/CMRV-LAMCEF, Bloco 16, Sala 6, 64202-020 Parnaíba PI, E-mail: bastosvh@gmail.com

Resumo

A percepção do tempo é subjetiva e relativa, além de modulada por aspectos neurofuncionais como a emoção, memória e atenção, e está alterada em algumas patologias neuropsiquiátricas. Entretanto, ainda existe muita discussão sobre quais modelos de percepção do tempo são mais aceitáveis e como estão envolvidos nas doenças neurológicas. Desse modo, o conhecimento do fisioterapeuta sobre a percepção do tempo e seus modelos é um fator que pode direcionar ao tratamento do paciente, pois há uma ativação de áreas corticais na percepção do tempo que também são envolvidas na motricidade. Um modelo geral de processamento de informação temporal deve comportar um oscilador, acumulador e comparador dos dados obtidos com a memória. No entanto, as bases neurofisiológicas dos mecanismos de percepção do tempo ainda não são totalmente determinadas, existindo modelos que apontam a existência de um mecanismo neural único ou a de vários dispositivos especializados em diferentes escalas. Embora as mudanças na percepção do tempo não caracterizem uma doença, diversos comprometimentos neurológicos podem acometer a percepção temporal. Apesar dos esforços não se pode concluir sobre quais áreas desempenham a função temporizadora, apenas inferir por meio de experimentos realizados em animais e humanos.

Palavras-chave: percepção do tempo, doença de Parkinson, neuroanatomia, neurofisiologia.

Abstract

The time perception is subjective, relative and modulated by neurofunctional aspects such as emotion, memory and attention. This is altered in some neuropsychiatric disorders. However, there is still much debate about which time perception models are more acceptable and how they are involved in neurological diseases. Thus, the physical therapist knowledge of time perception and its models is a factor that can direct the patient treatment, as there is activation in cortical areas which are also involved in motor function. A general model temporal information processing must contain an oscillator, accumulator and comparator data obtained from the memory. However, the neurophysiology of time perception mechanisms are still not fully determined, models exist which indicate the existence of a single neural mechanism or various specialized devices with different scales. Although the change in the time perception does not characterize a disease, various neurological impairments can affect time perception. Despite efforts cannot conclude on areas which perform the timer function, only inferred through performed in animal and human experiments.

Key-words: time perception, Parkinson disease, neuroanatomy, neurophysiology.

Introdução

Quando estamos ansiosos para o final de semana chegar, na fila de um banco ou em uma festa, percebemos o intervalo de tempo dependente da atenção e de outros componentes cognitivos. Nestas situações, os segundos podem parecer minutos, os minutos horas e um dia uma eternidade [1] ou, então, o tempo pode passar tão rápido que praticamente não o percebemos. Esses fatos têm promovido o interesse de pesquisadores em responder como percebemos o tempo e quais estruturas do Sistema Nervoso Central (SNC) estão envolvidas com a percepção do tempo [2,3]. Em especial, tem sido observado que o lobo frontal, núcleos da base (NB), ínsula, córtex parietal posterior e cerebelo recebem, integram e analisam as informações da percepção do tempo [4]. Neste contexto, o conhecimento das funcionalidades da percepção do tempo tem auxiliado psicólogos e médicos na atenção a pacientes com sequelas de doenças neurológicas que comprometem a percepção do tempo. Assim, o conhecimento do fisioterapeuta sobre percepção do tempo poderá facilitar o acompanhamento e direcionamento terapêutico de indivíduos com alterações na percepção temporal.

Dentre os modelos de percepção do tempo, o mais utilizado comporta um oscilador que envia os impulsos a um acumulador que os contabiliza, um comparador, que os confronta com os pulsos registrados na memória de trabalho e/ou de referência [5]. Esse modelo, denominado Teoria da Expectativa Escalar, foi estudado por Berry *et al.* [6] com estímulos auditivos e visuais e observaram que a atenção desempenhou um importante papel no modelo marcapasso-acumulador. Em especial, os estímulos auditivos capturaram a atenção de forma automática, enquanto os visuais necessitaram de controle cognitivo. Além disso, o estímulo auditivo parece fechar o interruptor mais rápido, acumulando mais pulsos do que os estímulos visuais, ou seja, os estímulos auditivos são percebidos com maior intervalo de tempo do que os visuais e, conseqüentemente, sua codificação é mais rápida [7].

Embora as mudanças na percepção do tempo não seja uma doença, diversos comprometimentos neurológicos podem acometer o modo que os pacientes respondem a estímulos relacionados com a percepção do tempo [8]. Em geral, indivíduos com doença de Parkinson (DP) e disfunções cerebelares apresentam alterações na percepção do tempo. Em especial, os pacientes com DP alteram a percepção do tempo na gama segundos, enquanto nas doenças cerebelares, em milissegundos [9]. Entretanto, algumas atividades podem fornecer um melhor ajuste da diferença da percepção do tempo entre o tempo real e o estimado pelos pacientes. Droit-Volet *et al.* [10] observaram que a passagem tempo pode ser modificada em praticantes de meditação. Neste contexto, o estudo tem por objetivo apresentar os modelos de PT a fim de demonstrar uma área da neurociência ainda não explorada pelo fisioterapeuta.

Material e métodos

Este estudo teve foco em artigos escritos em inglês no período de 1990 até 2015 acerca do tema percepção do tempo, os quais foram pesquisados de janeiro a abril de 2015 nas seguintes bases: *Pubmed*, *PlosOne* e *Scencedirect*. Nesta revisão sistemática foram incluídos relato de casos, documentos originais e de revisão. Utilizamos os seguintes termos para busca de artigos: "theories", "Parkinson disease" "neuroanatomy" e "neurophysiology". O termo "time perception" foi combinado com os termos de busca. Os resultados foram analisados pelos autores e os artigos foram considerados por sua relevância e qualidade global do manuscrito.

Resultados

Selecionamos 08 artigos com a combinação dos termos "time perception" e "theories", 08 artigos com "time perception" e "Parkinson's disease", 04 artigos com "time perception" e "neuroanatomy", 10 artigos com "time perception" e "neurophysiology". Após a seleção, foram utilizados os 30 artigos que cumpriram o objetivo do estudo.

Modelos de percepção do tempo

Os mecanismos neurais que permitem contar e codificar o tempo ainda não estão claros [11]. Diferentes modelos de percepção do tempo têm sido apresentados, dentre eles a teoria da expectativa escalar [12], relógios internos neurobiológicos, linha de atraso espectral,

modelos de rampa e de estado dependente [13]. Além de outros modelos baseados na frequência de pulsos detectados pelo estriado [14], difusão sequencial de bissecção temporal em tarefas de bissecção temporal [15], no traço de ativação e decaimento gaussiano de intervalo de tempo [16] e modelos intrínsecos [2].

Teoria da expectativa escalar

A teoria da expectativa escalar é caracterizada por inferir a existência neurofuncional de um marcapasso que desempenha um papel de receber uma determinada informação de tempo e encaminhá-la ao acumulador após passar por um interruptor que é controlado pela atenção. Quando a atenção está voltada para o estímulo a ser temporizado, o interruptor se fecha, permitindo que os pulsos emitidos pelo marcapasso fluam livremente para o acumulador [17]. No deslocamento do estímulo, o interruptor reabre e interrompe o fluxo de pulsos [18]. Assim, o tempo é estimado dependendo do número de pulsos acumulados durante o intervalo de tempo em que os mesmos fluíram pelo interruptor [19]. Em seguida, o acumulador compara os pulsos com a memória de trabalho e/ou memória de longo prazo para realizar a decisão, ou seja, a estimativa do tempo [20].

Relógios internos neurobiológicos

Esse modelo propõe que os atrasos são introduzidos como resultado de diferenças neuromorfológicas, metabólicas e cinéticas de sinapses que são contrabalanceadas pela diferença de tempo de entrada. Logo, a codificação do tempo acontece com a entrada de estímulos por distintos conjuntos de células ativas em diferentes momentos [21]. Desta forma, no deslocamento do estímulo, o interruptor reabre e interrompe o fluxo de pulsos [18]. Assim, o tempo é estimado dependendo do número de pulsos acumulados durante o intervalo que passou [19].

Linha de atraso espectral

Os modelos espectrais detêm um princípio comum, em que cada neurônio representa valores temporais diferentes, assumindo a capacidade de responder a diferentes intervalos de tempo isoladamente. Assim, as representações de eventos recentes são "retardadas" através de linhas de atraso, influenciadas por paradigmas de localização sonora, onde ocorre o fenômeno interaural [21].

Já, no modelo de rampa é proposto que os neurônios sejam ativados quase que linearmente para codificação de tarefas de percepção do tempo. E ainda, quando associados à resposta motora cronometrada, acredita-se que, ao alcançar o valor limite de disparo de um neurônio dentro dessa rampa, a resposta motora acontece [22]. Enquanto o modelo de estado dependente preconiza que alterações no estado em que a rede neural se encontra são impostas pela variação do tempo e pela característica recorrente na dinâmica de seus circuitos por toda área cortical. Logo, o estímulo cria um padrão de ativação neural e através da dinâmica e memória de curto prazo produzida por tal estímulo é estimado o tempo decorrido [23].

Modelos de rampa e de estado dependente

Os mecanismos dos neurônios próximos à rampa são desconhecidos, porém vem sendo indicados como resultante de dinâmicas neurais locais e de características próprias do neurônio. Quando há necessidade de respostas motoras ou expectativa de um evento relacionado com tarefas de percepção, a rampa pode ser confundida com função de representar expectativa, iniciar uma resposta motora ou a codificação do tempo [22]. Contudo, no modelo de estado neural deve-se diferenciar dois estados gerais: o estado ativo e oculto. Desse modo, o estado ativo corresponde ao conjunto de neurônios que estão disparando, enquanto as propriedades inerentes à rede e seus neurônios referem-se ao estado oculto. Estas peculiaridades são correntes sinápticas, cinética do canal e plasticidade sináptica de curto prazo, este último fornece uma memória sobre o ocorrido em dezenas ou centenas de milissegundos [24].

Esse modelo defende que os neurônios corticais oscilam de forma estável temporalmente, porém em frequências diferentes produzindo padrões de atividade distintos ao

longo do tempo no encéfalo. Dessa forma, os neurônios espinhosos localizados no neoestriado detectam um padrão de oscilação específico correspondente a um evento temporal. Assim, o estriado atua como uma unidade de saída única para um determinado número de unidades de saídas que estiverem ativos coincidentemente no mesmo período de tempo, ou seja, os potenciais são acumulados e saem agrupados pelo estriado [25]. Assim, nas vias córtico-estriatais, os neurônios espinhosos constataam determinado padrão entre osciladores ativos, onde as diferentes frequências coincidem com pontos específicos do tempo. Dessa maneira, quando recomeçam sua oscilação são associadas com padrões temporais já conhecidos e comparados com o padrão coincidente entre osciladores e um evento temporal latente. Por conseguinte, os padrões aprendidos foram fortalecidos por intermédio da liberação de dopamina, com base na memória de experiências anteriores com determinado evento temporal. Desta forma, a codificação dos padrões de saídas pelo integrador de saídas é realizada por meio dos neurônios espinhosos. Em analogia ao modelo marcapasso-acumulador, os padrões de sinapses fortes desempenham o papel de contagem dos pulsos [26].

Dessa maneira, os osciladores atuam de forma similar a conjunção marcapasso-acumulador no modelo de processamento de informação, comparando um padrão de ativação e fornecendo uma saída única para espaços de tempo diferentes. Já a rede córtico-estriatal atua como a memória de referência, filtrando, através de forças sinápticas, a saída correta disparada pelos neurônios espinhosos. Assim, funcionando de maneira semelhante a restrição feita pelo número de pulsos presentes no acumulador. No entanto, a percepção e junção de vários potenciais de ação advinda de osciladores são realizadas pelos neurônios espinhosos na produção de uma saída única desses potenciais que corresponde a fase de decisão nos modelos de processamento de informação, indicando uma tomada de decisão associada com uma determinada duração de tempo [25].

Difusão sequencial de bissecção temporal

A tarefa de bissecção temporal encaixa-se em temporização generalizada, onde os sujeitos são treinados a reconhecer duas durações de tempo como referência de um prazo de tempo curto e longo. Após o treinamento, apresentam-se três diferentes estímulos de forma estocástica, com durações curta, longa e uma intermediária. Assim, os indivíduos teriam que classificar com base nas durações anteriormente treinadas a duração como longa ou curta. Se as categorizações forem julgadas de forma certa, baseadas nas durações apresentadas, serão reforçadas, enquanto os erros e períodos apontados forem os intermediários não haverá reforço. Nesta tarefa, o momento em que há uma proporção igualitária de resposta tanto para um intervalo de tempo longo ou curto é constituído o ponto de bissecção ou ponto de igualdade subjetiva. Logo, um modelo para este tipo de tarefa foi desenvolvido e denominado modelo de Difusão Sequencial de Bissecção Temporal, onde a base fundamental deste modelo é a flutuação e difusão emergente da acumulação de pulsos prováveis em um determinado período de tempo, sendo estes pulsos excitatórios e inibitórios. Assim, os limiares de passagem temporal de acumulação de pulsos apresentam trajetórias com invariância escalar. Desse modo, a taxa de acúmulo é parâmetro para cronometrar o intervalo de tempo [15].

No modelo descrito por Balci e Simen, o mesmo é dividido em duas fases. Na primeira fase, alcança-se uma estimativa da duração do estímulo, enquanto na segunda fase, essa estimativa é categorizada o mais próximo da duração de referência, seja ela longa ou curta. Havendo uma dependência entre as duas fases, a estimativa alterada anteriormente determina a taxa de mudança na segunda fase de decisão. No primeiro estágio do modelo, o controle da estimativa do tempo é o foco para alcançar categorizações mais precisas sobre o parâmetro temporal. Assim, o modelo toma tais decisões a partir de sinais acumulados com valor médio constante, em que essa acumulação está sujeita a alterações aleatórias até a ultrapassagem do limiar do intervalo de tempo. Em um segundo momento, após a duração do estímulo ter ocorrido, inicia-se um processo de comparação. Assim, a duração do estímulo, ou seja, quão a primeira fase aumentou a temporização, é comparado pela diferença entre a estimativa e julgamento de bissecção. Se a diferença da estimativa de duração atual e a duração de bissecção excede um limiar para julgar o tempo como longo e curto, logo pode ser tomada uma decisão [15].

Traço de ativação e decaimento gaussiano de intervalo de tempo

O modelo de ativação e decaimento Gaussiano de intervalo de tempo baseia sua composição e percepção de acordo com a propriedade escalar do intervalo de tempo, unificando os processos de temporização retrospectivo e prospectivo em um quadro único, modulados por funções cognitivas. Além disso, sob alta carga cognitiva, ocorre maior precisão para as tarefas de temporização retrospectiva, ocorrendo o contrário no processo de temporização prospectivo. O tempo é contabilizado por alterações ocorridas no traço de ativação por um evento temporal significativo, cujas mudanças no traço representam o tempo decorrido, logo, pequenas alterações de ativação e seu respectivo decaimento codificam um curto intervalo de tempo. Do mesmo modo, o aumento do traço de ativação e seu decaimento cronometram um período mais longo de tempo. Assim, as modificações nos traços de ativação e seu decaimento permitem uma interpretação através da associação das alterações no traço de ativação e decaimento com acontecimentos específicos, como a passagem do tempo [13].

Desta forma, para implementar o modelo de Addyman e Mareschal, o encéfalo foi dividido baseado em colunas, em que a ativação da coluna central corresponde ao processo de registro da memória de um dado evento imposto pelo ambiente. Posteriormente, o processo de transporte desta ativação percorre um trajeto entre as colunas, porém uma fração dessa ativação permanece na coluna central, e à medida que o tempo passa a ativação propaga-se imediatamente para uma região vizinha em cada intervalo de tempo. Dessa maneira, a altura máxima alcançada na ativação somada ao decaimento gaussiano tem como resultado a estimativa temporal, ou seja, determinar quanto um traço de ativação estocástico desapareceu em comparação a uma curva de referência de ativação e decaimento construído com a vivência de uma experiência [16].

O modelo baseia-se na propagação de ativação para aproximar os eventos estocásticos envolvidos na informação, levando em conta o sistema cognitivo distribuído como ruído para informação temporal [26]. Este modelo também sugere uma conta única para decisões tanto em tarefas de temporização retrospectivas, que são aquelas em que o indivíduo não sabe que precisará contabilizar o tempo decorrido, enquanto na temporização prospectiva o sujeito tem consciência que irá cronometrar o intervalo de tempo [27]. Em resumo, a base neural dos processos cognitivos possui capacidade de modular a teoria proposta [13].

Modelos intrínsecos

Estes modelos assumem que a informação temporal é própria da dinâmica neural cortical. Tal modelo foi construído para o processamento de intervalos de curta duração, intervalos de subssegundos (milissegundos) e suprassegundos (segundos para minutos) de duração, que são de grande importância em atividades de caça, fala e controle motor. Buhusi e Meck evidenciaram que, para estes curtos períodos de tempo, o tratamento desses intervalos são realizados por diferentes mecanismos neurais inter-relacionados [28]. Desta maneira, Gupta realizou pesquisas teóricas introduzindo diferentes tipos de osciladores neurais compostos principalmente por neurônios do marcapasso, de entradas tônicas sensoriais e os de sincronização excitação/inibição interligados. O modelo é constituído por dois módulos: o primeiro é formado por osciladores embutidos em diferentes redes neurais; já o segundo, por neurônios moduladores de frequência (NMF) que detêm propriedades de condutâncias especiais, conexões, natureza de entrada de impulsos (ex. tamanho axonal, natureza das sinapses, circuito recorrente), bem como sinapses apresentando plasticidade de curta duração. Assim, os NMF quando calibrados por *feedback* sensorial e motor alteram sua frequência ou a sua taxa de mudança de frequência codifica o tempo, ou seja, seu estado determinaria a codificação da passagem temporal [2].

Gupta propõe três fatores de forma integrada, o primeiro é o intervalo temporal que é codificado pelo reflexo da frequência de picos de atividade neural ou rajadas desta atividade neural, assim a distância entre os picos são denominadas "unidades neurais temporais" que representam o tempo físico dentro do mecanismo desse modelo, dessa maneira, a distância entre os picos representa um intervalo temporal. Assim, o segundo fator é a calibração ativa de osciladores e conexões que representam o tempo real de forma precisa nos circuitos neurais internos [2]. Desse modo, a calibração ocorre por processos de *feedback* com movimentos motores, intercomunicação entre diferentes mecanismos neurais para sincronização de movimentos, além de informações sensoriais que calibram o relógio para desempenhar diversas tarefas e funções de forma bem sucedida. Como terceiro fator, os osciladores já

detêm bases sólidas em substratos neurais que caracterizam temporização sensório-motora, a partir de mudanças intrínsecas de estruturas neurais, um exemplo é o estriado que detecta padrões de oscilações, produzindo padrões de ponteciais de ações específicos através de neurônios espinhosos localizados no neocórtex [29]. O modelo de relógio modular de Gupta demonstra duas características, a primeira é ir de encontro com o tradicional modelo "marcapasso-acumulador" [2]. A segunda, implica em sua natureza modular dos relógios neurais através da atividade dos osciladores que enfatizam a comunicação entre diferentes bases neurais para atividades temporais entre eventos sensoriais distintos.

Atenção do fisioterapeuta

O conhecimento do fisioterapeuta sobre os modelos de percepção do tempo se faz relevante por abrir a discussão sobre a melhor forma de orientar o tratamento, em especial, em pacientes com DP. Nesse caso, a neurofisiologia da percepção do tempo demonstra em diferentes modelos uma resposta distinta [21]. Neste contexto, o paciente com DP superestima o tempo, principalmente em tarefas que promovem a reprodução do tempo [30]. Desse modo, quando o fisioterapeuta solicita a realização de uma tarefa na qual o indivíduo tenha que reproduzir o tempo, ocorre um aumento no tempo de realização da tarefa. Por outro lado, quando o fisioterapeuta demonstra o movimento e o paciente executa junto ao fisioterapeuta, há uma diminuição no tempo de execução com melhor organização neural [31]. Então, o estímulo visual com imitação parece mais eficaz do que estímulos auditivos e também orientar o paciente quanto ao movimento que será realizado promove melhor percepção temporal e consequente maior facilidade e adaptação cortical da tarefa [6,7].

Conclusão

Em conclusão, o presente estudo sugere que o conhecimento do fisioterapeuta sobre percepção do tempo auxiliará o desempenho dos pacientes com comprometimentos neurológicos. Apesar das diferenças entre pacientes, uma maior sensibilidade do fisioterapeuta no acompanhamento dos pacientes pode aumentar a eficácia do tratamento. Este é o primeiro trabalho direcionado para que os fisioterapeutas tenham uma compreensão da percepção do tempo e, em seguida, possam utilizar de estudos experimentais para análise da relação entre o procedimento do fisioterapeuta e sua influência na reorganização cortical por intermédio de tarefas de percepção do tempo.

Referências

1. Thönes S, Oberfeld D. Time perception in depression: A meta-analysis. *J Affect Disord* 2015;1;175C:359-372.
2. Gupta DS. Processing of sub- and supra-second intervals in the primate brain results from the calibration of neuronal oscillators via sensory, motor, and feedback processes. *Front Psychol* 2014;1;5:816.
3. Block RA, Gruber RP. Time perception, attention, and memory: a selective review. *Acta Psychol (Amst)* 2014;149:129-33.
4. Maes PJ, Lemans M, Palmer C, Wanderley MM. Action-based effects on music perception. *Front Psychol* 2014;3;4:1008.
5. Church RM, Broadbent HA. Alternative representations of time, number, and rate. *Cognition* 1990;37(1-2):55-81.
6. Berry AS, Li X, Lin Z, Lustig C. Shared and distinct factors driving attention and temporal processing across modalities. *Acta Psychologica* 2014;147:42-50.
7. Penney TB, Gibbon J, Meck WH. Differential effects of auditory and visual signals on clock speed and temporal memory. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 2000;26(6):1770-87.
8. Allman MJ, Meck WH. Pathophysiological distortions in time perception and timed performance. *Brain* 2012;135(Pt 3):656-77.
9. Meck WH, Vatakis A, van Rijn H. Timing & Time Perception Reviews: Opening the door to theoretical discussions of consciousness, decision-making, multisensory processing, time cells and memory mapping ... to name but a few issues of relevance to temporal cognition. *Timing & Time Perception Reviews*. 2014;1(1):1-4.

10. Droit-Volet S, Fanget M, Dambrun M. Mindfulness meditation and relaxation training increases time sensitivity. *Conscious Cogn* 2015;31:86-97.
11. Ivry RB, Spencer RM. The neural representation of time. *Curr Opin Neurobiol* 2004;14(2):225-32.
12. Grondin S. Timing and time perception: a review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Atten Percept Psychophys* 2010;72(3):561-82.
13. French RM, Addyman C, Mareschal D, Thomas E. Unifying prospective and retrospective interval-time estimation: A fading-Gaussian activation-based model of interval-timing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2014;126:141-50.
14. Gu BM, van Rijn H, Meck WH. Oscillatory multiplexing of neural population codes for interval timing and working memory. *Neurosci Biobehav Rev* 2015;48:160-85.
15. Balci F, Simen P. Decision processes in temporal discrimination. *Acta Psychol* 2014;149:157-68.
16. Addyman C, Mareschal Denis. GAMIT-Net: retrospective and prospective interval timing in a single neural network. In: Bello P, Guarini M, McShane M, Scassellati B, eds. *Proceedings of the 36th Annual Conference of the Cognitive Science Society. The Cognitive Science Society* 2014:98-103.
17. Kornbrot DE, Msetfi RM, Grimwood MJ. Time perception and depressive realism: judgment type, psychophysical functions and bias. *PLoS One* 2013;21;8(8):e71585.
18. Effron DA, Niedenthal PM, Gil S, Droit-Volet S. Embodied temporal perception of emotion. *Emotion* 2006;6(1):1-9.
19. Kaneko S, Murakami I. Perceived duration of visual motion increases with speed. *J Vis* 2009;22;9(7):14.
20. Jozefowicz J, Polack CW, Machado A, Miller RR. Trial frequency effects in human temporal bisection: implications for theories of timing. *Behav Processes* 2014;101:81-88.
21. Teixeira S, Machado S, Paes F, Velasques B, Silva JG, Sanfim AL, Minc D. Time perception distortion in neuropsychiatric and neurological disorders. *CNS Neurol Disord Drug Targets* 2013;12(5):567-82.
22. Goel A, Buonomano DV. Timing as an intrinsic property of neural networks: evidence from in vivo and in vitro experiments. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2014;20;369(1637).
23. Maniadas M, Trahanias P. Time models and cognitive processes: a review. *Front Neurobot* 2014;27;8:7.
24. Buonomano DV, Maass W. State-dependent computations: spatiotemporal processing in cortical networks. *Nat Rev Neurosci* 2009;10(2):113-25.
25. van Rijn H, Gu BM, Meck WH. Dedicated clock/timing-circuit theories of time perception and timed performance. *Adv Exp Med Biol* 2014;829:75-99.
26. Buhusi CV, Oprisan SA. Time-scale invariance as an emergent property in a perceptron with realistic, noisy neurons. *Behav Processes* 2013;95:60-70.
27. Block RA, Hancock PA, Zakay D. How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. *Acta Psychol (Amst)* 2010;134(3):330-43.
28. Buhusi CV, Meck WH. What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nat Rev Neurosci* 2005;6(10):755-65.
29. Santos L, Opris I, Hampson R, Godwin DW, Gerhardt G, Deadwyler S. Functional dynamics of primate cortico-striatal networks during volitional movements. *Front Syst Neurosci* 2014;27(8):00027.
30. Parker KL, Lamichhane D, Caetano MS, Narayanan NS. Executive dysfunction in Parkinson's disease and timing deficits. *Front Integr Neurosci* 2013;7:75.
31. Fortuna M, Teixeira S, Machado S, Velasques B, Bittencourt J, Peressutti C, Budde H. Cortical reorganization after hand immobilization: the beta qEEG spectral coherence evidences. *PLoS One* 2013;22;8:11.