

SIMULAÇÃO DO FENÔMENO DE ACOMODAÇÃO EM MODELOS DE MOTONEURÔNIOS COM DENDRITO PASSIVO

Elias, Leonardo Abdala¹ e Vieira, Marcus Fraga²

Palavras-chave: Motoneurônios, modelagem matemática, resposta repetitiva, acomodação de motoneurônios.

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno de acomodação depende principalmente das mudanças nas condutâncias rápidas de sódio e de potássio. Motoneurônios de gatos respondem com longa latência, sugerindo uma acomodação lenta (SCHLUE et al., 1974a, 1974b, 1974c). Porém, outros autores propõem que rápidas acomodações também podem ocorrer principalmente em motoneurônios espinhais e mesencefálicos (FRANK e FOURTES, 1960).

Algumas propriedades da acomodação podem ser bem avaliadas observando-se basicamente dois elementos, frutos da resposta dos motoneurônios a correntes em rampa: a curva de limiar de latência (*threshold latency* – TL) e o coeficiente de acomodação $(I/I_0)_s$. A curva TL fornece a relação entre o instante de ocorrência do primeiro potencial de ação e a intensidade da corrente que o provocou quando uma corrente em rampa é injetada no soma do motoneurônio. O coeficiente de acomodação $(I/I_0)_s$ fornece a relação entre a corrente final de uma rampa de 1 segundo de duração, com inclinação suficiente para gerar um único potencial de ação, e a corrente de reobase (SCHLUE et al., 1974a, 1974b, 1974c). Com este coeficiente, dentro de uma faixa numérica, pode-se classificar o motoneurônio entre aqueles que se acomodam lenta ou rapidamente.

Nesse sentido, este estudo teve como objetivo analisar as diferenças nas taxas de acomodação observadas nos motoneurônios espinhais de gatos (SCHLUE et al., 1974a, 1974b, 1974c; FRANK e FOURTES, 1960), e classificar os modelos de motoneurônios propostos por Vieira (2002) entre aqueles que se acomodam lenta ou rapidamente, analisando assim suas propriedades de acomodação e comparando os resultados obtidos por meio de simulações com os reportados na literatura experimental, servindo como mais um instrumento de validação destes modelos, além de apontar alguns subsídios para a pesquisa experimental.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, neste trabalho, levantamos os dados relativos à reobase (I_0) dos modelos de motoneurônios, ou seja, seu limiar de corrente. Para isso, correntes em degrau de longa duração (maior que 50 ms) foram injetadas no soma dos modelos e a mínima corrente capaz de provocar pelo menos um potencial de ação foi tomada como sendo sua reobase (I_0).

Para as análises de acomodação, correntes em rampa foram injetadas no soma dos modelos de motoneurônios. Estas foram modeladas como uma função linear dependente do tempo (Equação 1) na qual *incl* é a inclinação da rampa de corrente:

$$corr = incl(t - 300) \quad (1)$$

As correntes foram injetadas durante 600 ms, sempre a partir de 300 ms a fim de evitar qualquer transitório, seguindo o protocolo experimental.

O período de latência para cada modelo foi calculado como o intervalo de tempo entre o início da estimulação e o instante de ocorrência do primeiro potencial de ação, conforme protocolo experimental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os valores obtidos para a reobase para os três modelos de motoneurônios.

Tabela 1. Valores da reobase dos modelos de motoneurônios.

I_0 (nA)	Motoneurônio		
	Tipo S	Tipo FR	Tipo FF
	2,644	7,280	16,430

Seguindo o protocolo experimental descrito na metodologia, simulou-se nos modelos a injeção de correntes em rampa com diferentes inclinações. Estas inclinações tiveram faixas de valores diferentes para os três modelos, pelo fato de que apresentam limiares de correntes diferentes. Para o modelo de motoneurônio tipo S a faixa de inclinações variou desde 6,5 pA/ms até um máximo de 8 nA/ms; para o modelo de motoneurônio tipo FR desde 10 pA/ms até 8 nA/ms, e para o modelo de motoneurônio tipo FF desde 35 pA/ms até 8 nA/ms.

As curvas TL típicas obtidas para os modelos de motoneurônios tipo S e tipo FF são mostradas na Figura 1.

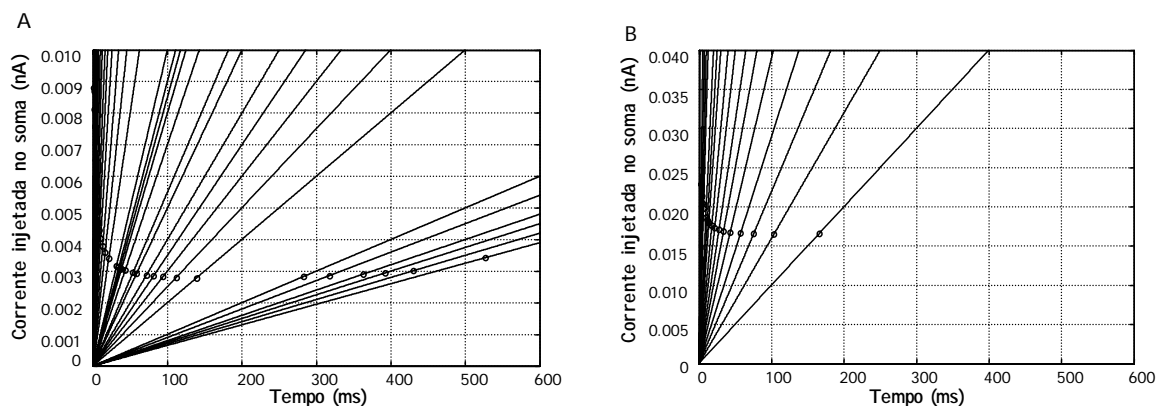


Figura 1: Curva TL típica obtida para os modelos de motoneurônios tipo S (A) e tipo FF (B). Os círculos indicam o instante de ocorrência do primeiro potencial de ação para cada corrente em rampa injetada no soma.

O coeficiente de acomodação levantado para os modelos foi analisado segundo o protocolo proposto por Schlue et al. (1974a, 1974b e 1974c). Os resultados obtidos nas simulações são mostrados na Tabela 2, contendo a inclinação mínima da corrente em rampa necessária para provocar um único potencial de ação, o valor da corrente que provoca esse potencial de ação, a reobase do modelo e o coeficiente de acomodação (I/I_0)_s.

Tabela 2. Coeficiente de acomodação dos modelos de motoneurônios

Modelo	Inclinação (pA/ms)	I (nA)	Reobase (nA)	$(I/I_0)_s$
Tipo S	3,88	3,896	2,644	1,463
Tipo FR	10,7	10,6	7,280	1,456
Tipo FF	23,5	23,3	16,430	1,418

A aplicação de correntes em rampa para estudar a acomodação nos modelos de motoneurônios provocou respostas repetitivas. Esta resposta e a curva TL encontradas para os modelos apresentam resultados satisfatórios quando comparados àqueles reportados na literatura tomada como referência.

As curvas TL da Figura 1 são semelhantes às reportadas por Frank e Fourtes (1960), sendo que a diferença entre as curvas dos três modelos se deu somente no período de latência e na amplitude de corrente. Diferenças na latência não puderam ser associadas às propriedades do motoneurônio, entretanto, quando analisadas sob o aspecto da intensidade de corrente, estas

apresentam as mesmas características dos estudos reportados na literatura, nos quais a intensidade de corrente para se produzir um potencial de ação é maior em motoneurônios tipo FF, menor em motoneurônios tipo FR e menor ainda em motoneurônios tipo S.

Para os valores encontrados na Tabela 2, fica evidente que os novos modelos são motoneurônios que apresentam acomodação lenta, segundo o critério reportado por Schlue et al.(1974a, 1974b e 1974c), no qual coeficientes de acomodação $(I/I_0)_s$ menores que 1,6 caracteriza motoneurônios de acomodação lenta.

4. CONCLUSÃO

Neste estudo pudemos levantar as características de acomodação dos modelos de motoneurônios de dendrito passivo propostos por Vieira (2002). Além disso, os testes aqui apresentados servem, mais uma vez, como uma ferramenta de validação destes modelos.

Os resultados ora apresentados mostram que os modelos de motoneurônios de vertebrados propostos são, todos eles, motoneurônios de acomodação lenta, segundo os critérios estabelecidos na literatura consultada, estando, entretanto, dentro dos limites fisiológicos.

Os dados reportados na literatura, entretanto, mostram que os motoneurônios exibem ampla faixa no que se refere às propriedades de acomodação (SCHLUE et al., 1974a, 1974b e 1974c). Contudo, não podemos afirmar que esta variação é relativa ao tipo de motoneurônio, dado que estes autores não fizeram este tipo de relação, levantando seja a resistência de entrada, seja a resposta repetitiva (curva f/I), que fornecem elementos para identificar o tipo de motoneurônio estudado: tipo S, tipo FR e tipo FF.

Porém, uma vez que as propriedades de acomodação dependem principalmente de mudanças nas condutâncias rápidas de sódio e de potássio, estas podem estar conferindo as diferenças existentes entre os motoneurônios de diferentes tipos, isto é, além da densidade diferente de canais de sódio e potássio, os diferentes tipos de motoneurônios podem exibir diferentes dinâmicas nas condutâncias rápidas de sódio e potássio.

Isto explicaria porque os modelos ora analisados exibiram propriedades de acomodação semelhantes: as condutâncias rápidas de sódio e potássio foram modeladas de forma semelhante (VIEIRA, 2002), diferindo na densidade de canais. Entretanto, qualquer alteração na modelagem destas condutâncias precisaria de suporte teórico por parte da pesquisa experimental.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Frank, K.; Fourtes, M.G.F. Accommodation of Spinal Motoneurons of Cats. **Archives Italian in Biology**, v.98, p. 165-170, 1960.

Schlue, W.R. et al. Mechanisms of Accommodation to Linearly Rising Currents in Cat Spinal Motoneurons. **Journal of Neurophysiology**, v. 37, p. 310-315, 1974.

Schlue, W.R. et al. Response of Cat Spinal Motoneuron Somata and Axons to Linearly Rising Currents. **Journal of Neurophysiology**, v. 37, p. 303-305, 1974.

Schlue, W.R. et al. Accommodation of Cat Spinal Motoneurons to Linearly Rising Currents Before and During Long-Term Changes of Membrane Potential. **Brain Research**, v. 76, p. 213-221, 1974.

Vieira, M.F. **Novos Modelos de Motoneurônios de Vertebrados**. São Paulo, SP:USP, 2002. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2002. 304 p.

Fomento:

Este trabalho teve apoio da **Universidade Federal de Goiás** por meio do **Programa Institucional Bolsistas de Iniciação Científica (PIBIC)**.

¹ Bolsista de Iniciação Científica. Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – EEEEC, leoabdala@brturbo.com.br

² Doutor em Engenharia Biomédica – Laboratório de Biomecânica - FEF/UFG, marcus@fef.ufg.br