

Computação científica no estudo da Biomecânica e Controle motor

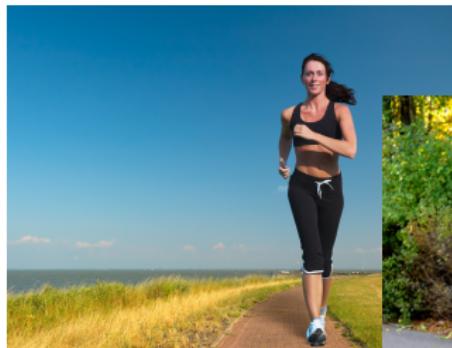
Renato Naville Watanabe

12 de novembro de 2018

Sumário

- 1 Perguntas a serem respondidas
- 2 Modelo neuromusculoesquelético
- 3 Processamento de sinais
- 4 Conclusões

Tarefas motoras



Perguntas a serem respondidas

- Qual a contribuição de cada um dos músculos na execução das tarefas?

Perguntas a serem respondidas

- Qual a contribuição de cada um dos músculos na execução das tarefas?
- Qual a origem do comportamento estocástico da força muscular?

Perguntas a serem respondidas

- Qual a contribuição de cada um dos músculos na execução das tarefas?
- Qual a origem do comportamento estocástico da força muscular?
- O que causa diferenças na performance motora observadas em pacientes de diferentes patologias?

Perguntas a serem respondidas

- Qual a contribuição de cada um dos músculos na execução das tarefas?
- Qual a origem do comportamento estocástico da força muscular?
- O que causa diferenças na performance motora observadas em pacientes de diferentes patologias?
- Qual a origem de oscilações lentas no torque de uma articulação?

Perguntas a serem respondidas

- Qual a contribuição de cada um dos músculos na execução das tarefas?
- Qual a origem do comportamento estocástico da força muscular?
- O que causa diferenças na performance motora observadas em pacientes de diferentes patologias?
- Qual a origem de oscilações lentas no torque de uma articulação?
- O que causa a intermitência nos disparos dos motoneurônios durante a manutenção da postura ereta quieta?

Maneiras de tentar responder a estas perguntas

- Realizar experimentos.

Maneiras de tentar responder a estas perguntas

- Realizar experimentos.
- Utilizar modelos computacionais e realizar simulações.

Maneiras de tentar responder a estas perguntas

- Realizar experimentos.
- Utilizar modelos computacionais e realizar simulações.
- Utilizar técnicas de processamento de sinais.

Maneiras de tentar responder a estas perguntas

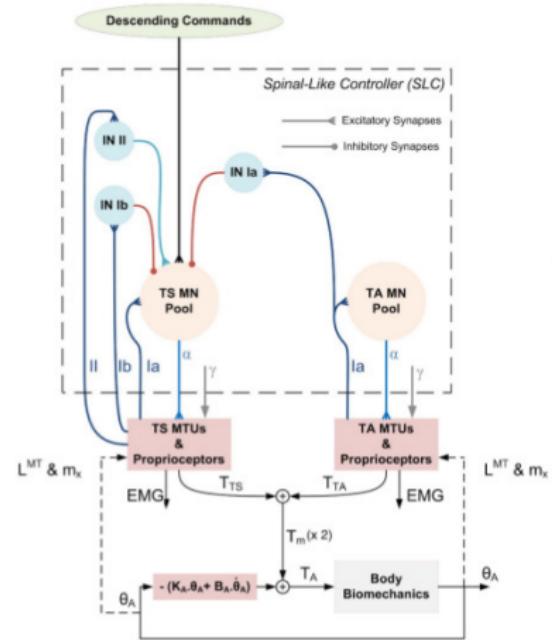
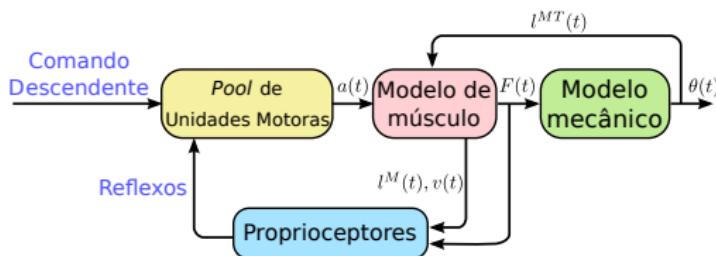
- Utilizar modelos computacionais e realizar simulações.
- Utilizar técnicas de processamento de sinais.

Sumário

- 1 Perguntas a serem respondidas
- 2 Modelo neuromusculoesquelético
- 3 Processamento de sinais
- 4 Conclusões

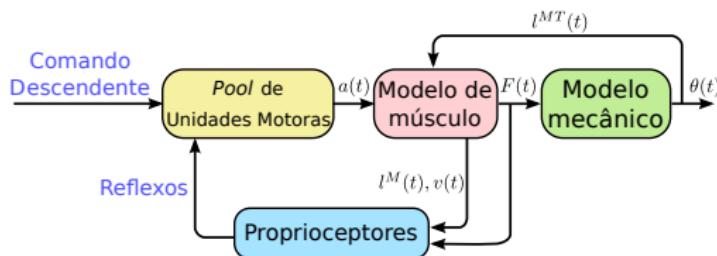
Modelo geral

Modelo realista dos núcleos motores dos músculos do tríceps sural e do tibial anterior, juntamente com seus proprioceptores e aferentes.

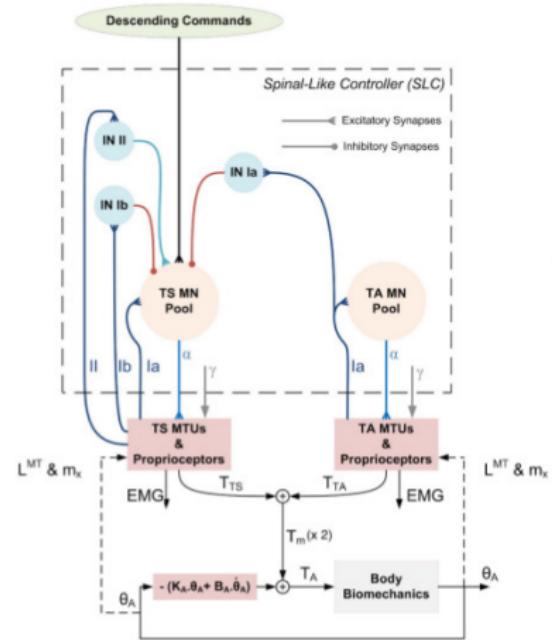


Modelo geral

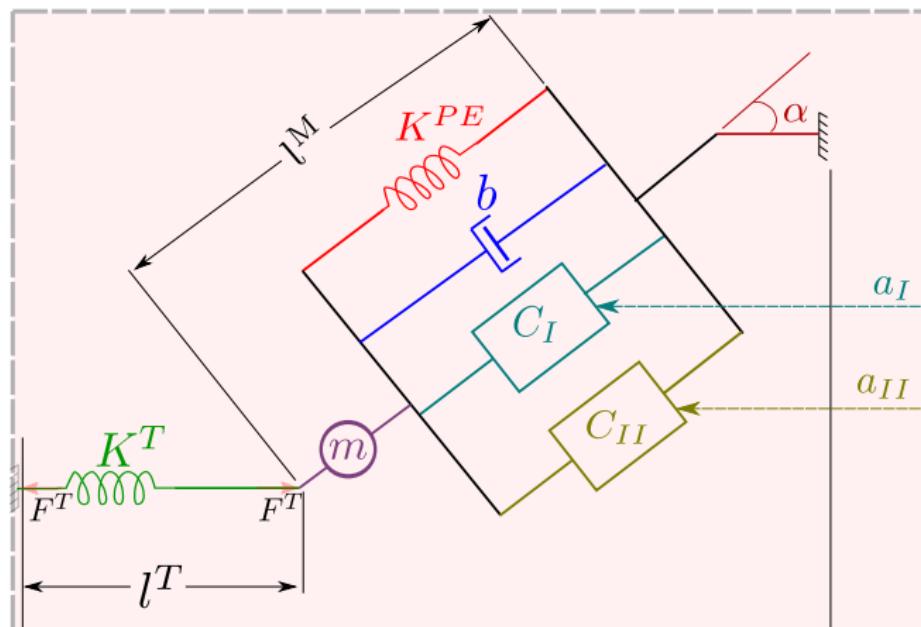
Modelo realista dos núcleos motores dos músculos do tríceps sural e do tibial anterior, juntamente com seus proprioceptores e aferentes.



- Cisi e Kohn (2008)
- Elias, Chaud e Kohn (2012)
- Elias e Kohn (2013)
- Watanabe et al. (2013)
- Elias, Watanabe e Kohn (2014)
- Watanabe e Kohn (2015)
- Watanabe e Kohn (2017)

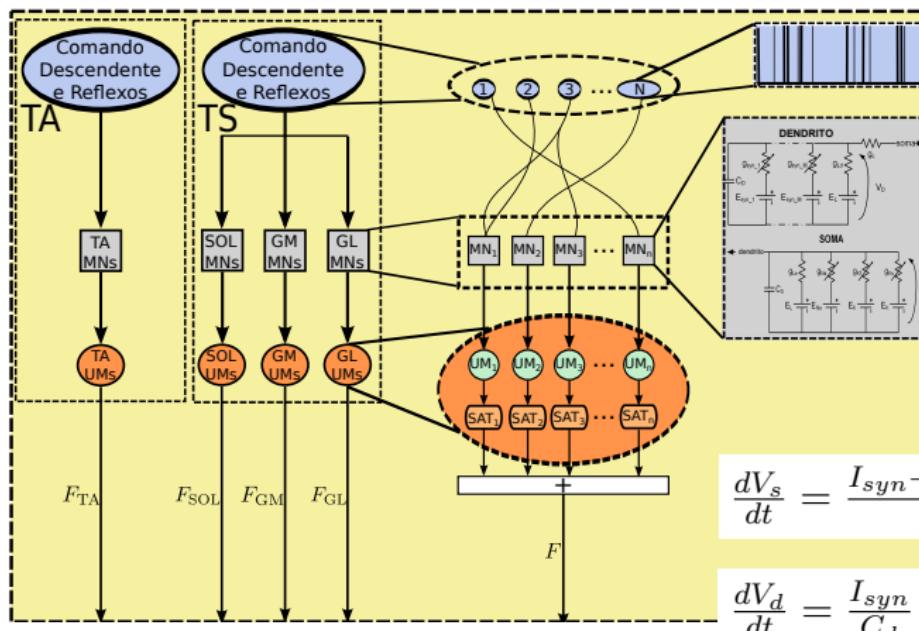


Modelo de músculo



$$\frac{d^2l^M}{dt^2} = \frac{1}{m} [\mathbf{F}^T \cos(\alpha) - (\mathbf{F}^{C_I} + \mathbf{F}^{C_{II}} + (\mathbf{F}^{PE} + \mathbf{F}^{PV}) \cos^2(\alpha))]$$

Visão geral do núcleo de neurônios motores



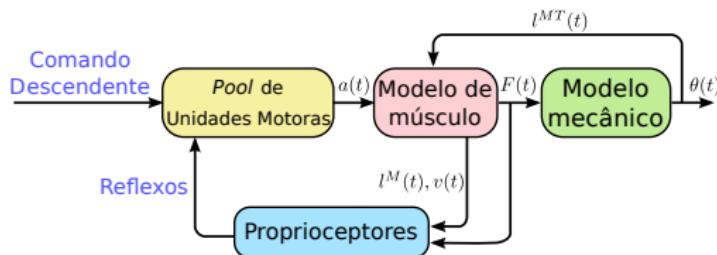
$$\frac{dV_s}{dt} = \frac{I_{syn} + I_{Na} + I_{Ks} + I_{Kf}}{C_s}$$

$$\frac{dV_d}{dt} = \frac{I_{syn}}{C_d}$$

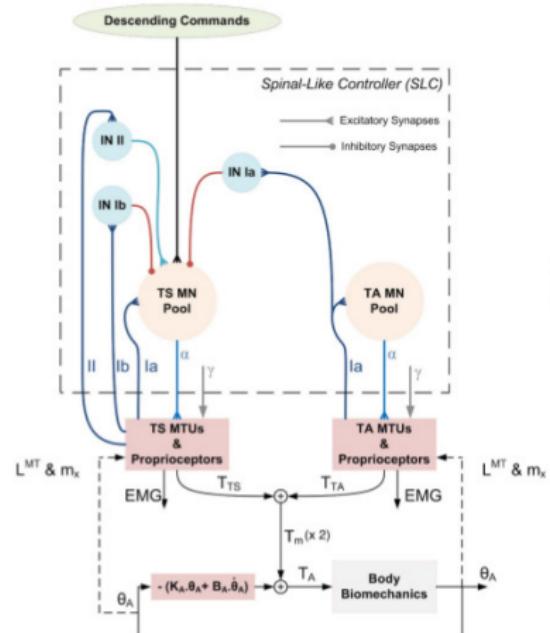
Modelo geral

<https://github.com/rnwatanabe/projectFR>

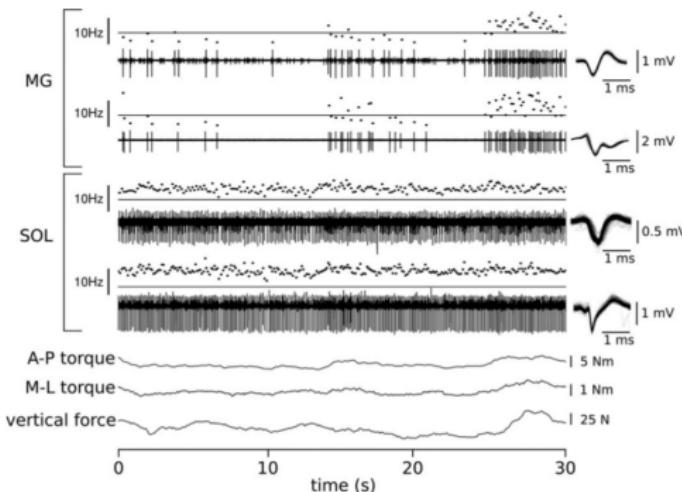
Modelo realista dos núcleos motores dos músculos do tríceps sural e do tibial anterior, juntamente com seus proprioceptores e aferentes.



- Cisi e Kohn (2008)
- Elias, Chaud e Kohn (2012)
- Elias e Kohn (2013)
- Watanabe et al. (2013)
- Elias, Watanabe e Kohn (2014)
- Watanabe e Kohn (2015)
- Watanabe e Kohn (2017)



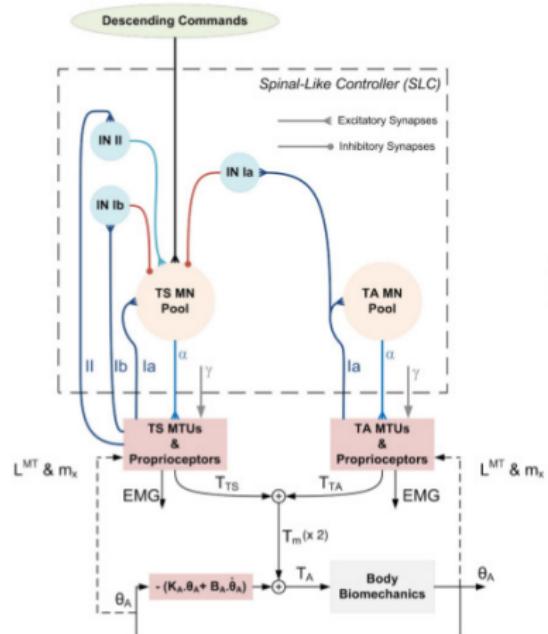
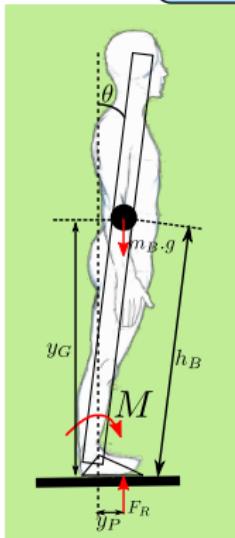
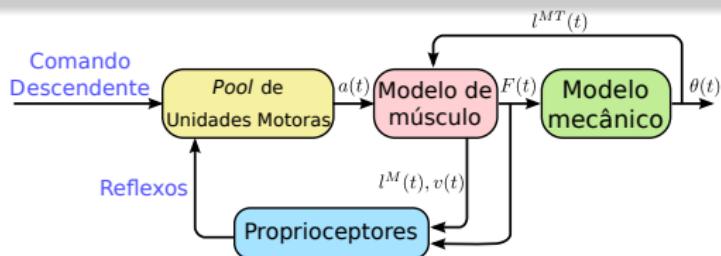
Intermitênciam nos disparos do Gastrocnêmio Medial no controle da postura ereta quieta



Heroux et al. (2014)

O controle da postura ereta é voluntário ou uma malha de controle automático?

Modelo utilizado



Publicação

OPEN  ACCESS Freely available online



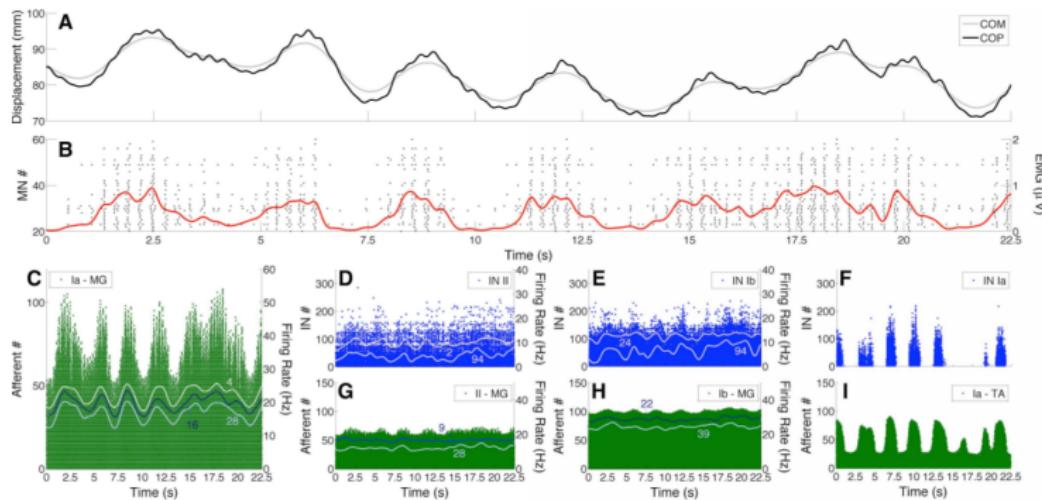
Spinal Mechanisms May Provide a Combination of Intermittent and Continuous Control of Human Posture: Predictions from a Biologically Based Neuromusculoskeletal Model



Leonardo Abdala Elias*, Renato Naville Watanabe, André Fabio Kohn

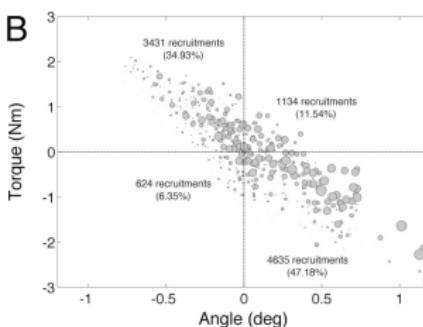
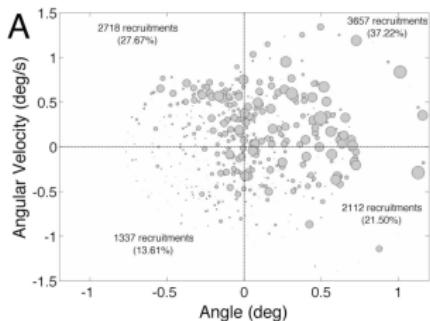
Biomedical Engineering Laboratory, Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Resultados da simulação



Resultados da simulação

A intermitência dos disparos dos motoneurônios surge da dinâmica do controle medular.



Perspectivas de uso do modelo

O modelo apresentado aqui, com algumas modificações, pode ser utilizado para outros estudos, como:

Perspectivas de uso do modelo

O modelo apresentado aqui, com algumas modificações, pode ser utilizado para outros estudos, como:

- Tarefas mais complexas (andar, correr, etc).

Perspectivas de uso do modelo

O modelo apresentado aqui, com algumas modificações, pode ser utilizado para outros estudos, como:

- Tarefas mais complexas (andar, correr, etc).
- Estudo de patologias afetando os neurônios motores e axônios como ELA, Guillain-Barré e espasticidade.

Perspectivas de uso do modelo

O modelo apresentado aqui, com algumas modificações, pode ser utilizado para outros estudos, como:

- Tarefas mais complexas (andar, correr, etc).
- Estudo de patologias afetando os neurônios motores e axônios como ELA, Guillain-Barré e espasticidade.

Perspectivas de uso do modelo

O modelo apresentado aqui, com algumas modificações, pode ser utilizado para outros estudos, como:

- Tarefas mais complexas (andar, correr, etc).
- Estudo de patologias afetando os neurônios motores e axônios como ELA, Guillain-Barré e espasticidade.

Perspectivas de uso do modelo

O modelo apresentado aqui, com algumas modificações, pode ser utilizado para outros estudos, como:

- Tarefas mais complexas (andar, correr, etc).
- Estudo de patologias afetando os neurônios motores e axônios como ELA, Guillain-Barré e espasticidade.

Código em Fortran disponível em:

<https://github.com/rnwatanabe/projectFR>.

Código em Python disponível em:

<https://github.com/rnwatanabe/projectPR>.

Sumário

- 1 Perguntas a serem respondidas
- 2 Modelo neuromusculoesquelético
- 3 Processamento de sinais
- 4 Conclusões

O uso de processamento de sinais

- No estudo do movimento humano podem ser medidos diferentes sinais: EEG, EMG, força, torque, ângulos.

O uso de processamento de sinais

- No estudo do movimento humano podem ser medidos diferentes sinais: EEG, EMG, força, torque, ângulos.
- Com isso, surgem diferentes questões de como esses sinais se relacionam:

O uso de processamento de sinais

- No estudo do movimento humano podem ser medidos diferentes sinais: EEG, EMG, força, torque, ângulos.
- Com isso, surgem diferentes questões de como esses sinais se relacionam:
 - Existe alguma relação entre esses sinais?

O uso de processamento de sinais

- No estudo do movimento humano podem ser medidos diferentes sinais: EEG, EMG, força, torque, ângulos.
- Com isso, surgem diferentes questões de como esses sinais se relacionam:
 - Existe alguma relação entre esses sinais?
 - Esta relação é linear ou não-linear?

O uso de processamento de sinais

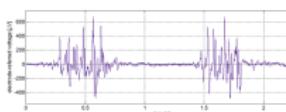
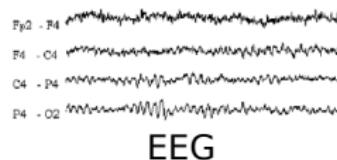
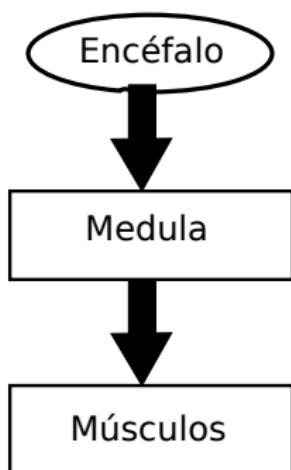
- No estudo do movimento humano podem ser medidos diferentes sinais: EEG, EMG, força, torque, ângulos.
- Com isso, surgem diferentes questões de como esses sinais se relacionam:
 - Existe alguma relação entre esses sinais?
 - Esta relação é linear ou não-linear?
 - Qual a relação de causalidade entre um sinal e outro?

O uso de processamento de sinais

- No estudo do movimento humano podem ser medidos diferentes sinais: EEG, EMG, força, torque, ângulos.
- Com isso, surgem diferentes questões de como esses sinais se relacionam:
 - Existe alguma relação entre esses sinais?
 - Esta relação é linear ou não-linear?
 - Qual a relação de causalidade entre um sinal e outro?
- Estas perguntas não são respondidas de forma intuitiva ou com técnicas simples de análise de sinais.

O conjunto de neurônios motores é um sistema linear ou não-linear?

Ou: que tipo de transformação a medula faz nos sinais vindos do cérebro para transformá-los em força?



Publicação

Análise não-linear no domínio da frequência.

The Journal of Neuroscience, October 7, 2015 • 35(40):13687–13697 • 13687

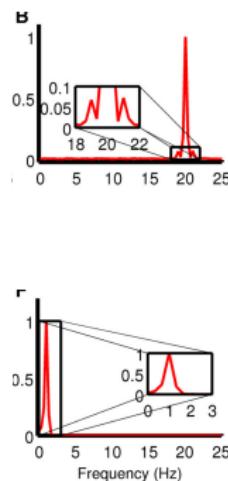
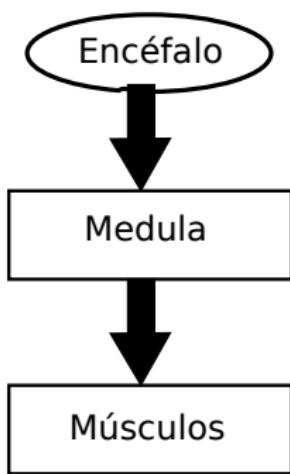
Behavioral/Cognitive

Fast Oscillatory Commands from the Motor Cortex Can Be Decoded by the Spinal Cord for Force Control

©Renato N. Watanabe¹ and ©Andre F. Kohn^{1,2}

¹Laboratorio de Engenharia Biomedica, Escola Politécnica and ²Neuroscience Program, Universidade de São Paulo, CEP 05508-010, São Paulo, Brazil

Relação entre comando do encéfalo e atividade muscular



Publicação

1930

IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING, VOL. 25, NO. 11, NOVEMBER 2017



Nonlinear Frequency-Domain Analysis of the Transformation of Cortical Inputs by a Motoneuron Pool-Muscle Complex

Renato Naville Watanabe and André Fabio Kohn

[https://github.com/rnwatanabe/FROLSIdentification.](https://github.com/rnwatanabe/FROLSIdentification)

Perspectivas

- Análise da relação entre EEG e EMG usando técnicas não-lineares no domínio da frequência.

Perspectivas

- Análise da relação entre EEG e EMG usando técnicas não-lineares no domínio da frequência.
- Quais informações vão do encéfalo para os músculos e quais informações vão dos músculos para o encéfalo.

Perspectivas

- Análise da relação entre EEG e EMG usando técnicas não-lineares no domínio da frequência.
- Quais informações vão do encéfalo para os músculos e quais informações vão dos músculos para o encéfalo.
- Quais informações enviadas pelo Sistema nervoso central são comuns a diversos músculos e quais são enviadas para músculos específicos.

Sumário

- 1 Perguntas a serem respondidas
- 2 Modelo neuromusculoesquelético
- 3 Processamento de sinais
- 4 Conclusões

Conclusões

O uso da computação científica tem permitido, juntamente com técnicas matemáticas, que se realize análises e se formule hipóteses no estudo da biomecânica e controle do movimento que são impossíveis de se realizar com a simples observação ou intuição.

Obrigado

<https://github.com/rnwatanabe>