

A importância das variáveis intrínsecas e extrínsecas no controle dos movimentos

The importance of intrinsic and extrinsic variables in the control of movements

Irlei dos Santos¹; Nádia Fernanda Marconi²

¹ Mestrando em Ciências da Reabilitação - Laboratório de Controle Motor – Uninove.

² Docente do Programa de pós-graduação em Ciências da Reabilitação, Laboratório de Controle Motor – Uninove.

Endereço para correspondência

Laboratório de Controle Motor, Rua Vergueiro, 249, 2º subsolo,
01504-001 – São Paulo – SP [Brasil]
e-mail: nadiamarconi@uninove.br

Resumo

Neste artigo, analisam-se que variáveis, intrínsecas ou extrínsecas, o Sistema Nervoso Central controla durante a execução de movimentos voluntários da extremidade superior. De acordo com a “Estratégia Dual”, esse sistema modula os padrões de atividade muscular conforme a demanda da tarefa em termos de distância percorrida e velocidade de execução. De um modo geral, a revisão de literatura revelou que, durante a execução de movimentos simples e complexos da extremidade superior, esses padrões estão linearmente acoplados com os impulsos do torque muscular (força gerada na articulação). Por se tratar de eventos que ocorrem no nível da articulação, alguém poderia argumentar que o Sistema Nervoso Central tem uma preferência pelo controle de variáveis intrínsecas durante a execução de movimentos. Por outro lado, as invariâncias observadas na trajetória da mão e na velocidade do dedo indicador suportam a idéia de que tal sistema planeja os movimentos a partir de variáveis extrínsecas. Essa hipótese ganha força com os resultados de estudos mais recentes que compararam o desempenho motor (em termos de precisão) durante a execução de uma tarefa “extrínseca” e “intrínseca”.

Descritores: Cinemática; Controle motor; EMG; Variáveis intrínsecas; Variáveis extrínsecas; Torque muscular.

Abstract

In this study, it is analyzed in intrinsic or extrinsic variables the central nervous system controls during the performance of the voluntary movements of the superior extremity. In accordance with the “Dual Strategy Hypothesis”, this system modulates the patterns of muscular activity in conformity with the demand of the task in terms of distance and velocity of execution. Generally, the literature review demonstrated that during the performance of simple and complex movements of the superior extremity. These patterns are linearly coupled with the muscle torque impulses (a force generated in the joint). In view of discussing about the joint, it could be argued that the Central Nervous System has a preference for controlling intrinsic variables during the execution of movements. On the other hand, the invariances observed in the hand path and in the speed of index finger can reveal that the Central Nervous System plans movements using extrinsic variables. This hypothesis is supported by evidences from new studies that compare the motor performance (in terms of accuracy) during the execution of an “extrinsic” and “intrinsic” task.

Key words: EMG; Extrinsic variables; Intrinsic variables; Kinematics; Motor control; Muscle torque.

Introdução

Este artigo é uma revisão da literatura em que se mostra e se discute quais variáveis são, de fato, relevantes para o Sistema Nervoso Central (SNC) no momento de planejar e executar um movimento de forma rápida e precisa. Em termos de planejamento de movimento, existem evidências de que o SNC utiliza as informações extrínsecas (i.e. trajetória da mão no espaço). Essa hipótese é reforçada pelas invariâncias observadas no perfil da velocidade linear do dedo indicador e no deslocamento e rapidez angular de articulações envolvidas na tarefa. No entanto, uma forma eficiente de investigar que tipo de informação, extrínseca ou intrínseca, o Sistema Nervoso utiliza é comparar o desempenho motor durante tarefas “extrínsecas” (informações visuais e proprioceptivas estão disponíveis) e intrínsecas (somente a informação proprioceptiva está disponível). O uso de informações extrínsecas no planejamento dos movimentos requer uma transformação interna. Por exemplo, assumindo-se que o SNC planeja os movimentos em termos de deslocamento linear do membro no espaço. Nesse caso, ele teria de, em algum nível, determinar os padrões de atividade eletromiográfica (EMG), computar os torques e gerar o deslocamento angular nas articulações. A revisão de literatura sobre essa temática é pertinente, uma vez que fisioterapeutas e profissionais que trabalham com movimento estão sempre deparando com questões importantes, entre as quais, que tipo de dado deve ser priorizado durante a terapia para atingir os objetivos terapêuticos propostos? Dessa forma, o objetivo deste estudo é esclarecer algumas divergências encontradas na literatura sobre o tipo de informação (intrínseca ou extrínseca) que o Sistema Nervoso Central preferencialmente utiliza para planejar e controlar os movimentos.

Materiais e métodos

Este trabalho foi elaborado com base na revisão da literatura nos bancos de dados Medline,

SciELO, PEDro e ISI, de 1975 a 2006. As palavras-chave utilizadas para a busca foram *upper limb movement, kinematics, kinetics, electromyography, extrinsic variables* e *intrinsic variables*. Os resumos de todos os artigos científicos localizados foram lidos, e selecionados apenas os que demonstraram uma correlação direta com a temática deste estudo, ou seja, os que continham dados referentes ao controle de variáveis intrínsecas e extrínsecas pelo SNC, durante a execução de movimentos voluntários da extremidade superior. No total, a revisão de literatura contemplou 18 pesquisas científicas. Foram incluídos somente trabalhos escritos em inglês, e excluídos os que não continham as palavras-chave definidas, e os que não estavam nesse idioma, além daqueles publicados em revistas científicas não indexadas. Todos os textos foram lidos na íntegra e a revisão foi complementada com a consulta de uma obra em português (dissertação).

Resultados e discussão

Segundo Gottlieb et al.¹, as estratégias são um conjunto de regras que podem ser utilizadas para explicar uma série de tarefas motoras em termos de padrões de ativação muscular. Quando executamos uma tarefa motora simples como flexão da articulação do cotovelo, a ativação muscular é caracterizada pela geração de um padrão recíproco de atividade (agonista-antagonista-agonista), que recebeu o nome de padrão trifásico^{2,3}.

Na tarefa citada, quando uma pessoa precisa mover o braço de um ponto A a um ponto B, o músculo agonista é ativado primeiro para gerar uma força que acelerará o membro em direção ao alvo. Nesse momento, é possível identificar um primeiro envelope de atividade muscular agonista. Cerca de algumas dezenas de milissegundos após o início dessa atividade, é possível identificar um envelope de atividade antagonista, o qual irá desacelerar o movimento naquela direção. O tempo entre o começo da ação muscular agonista e o da antagonista é

chamado de latência antagonista. Finalmente, é possível identificar um segundo envelope de atividade agonista, o qual desacelerará o membro na posição inicial^{2,3}.

Assim, estratégias têm sido descritas para explicar como o SNC modularia esse padrão de ativação muscular para gerar movimentos uniarticulares restritos em diferentes distâncias, velocidades e cargas (*Dual Strategy Hypothesis*)⁴.⁵ Essas estratégias mostram que o comando central (potencial de ação) enviado aos neurônios motores alfa na medula poderia ser modulado como um filtro de baixa frequência.

De acordo com a *Speed Insensitive Strategy*⁴, padrões de ativação muscular agonista de movimentos realizados “o mais rápido possível” são caracterizados pela geração de um envelope de intensidade constante para diferentes amplitudes angulares. A intensidade é uma medida da atividade muscular agonista durante os primeiros trinta milésimos de segundos e representa o número de unidades motoras recrutadas. Já a duração desse envelope agonista aumentaria com a distância movida. Com relação à musculatura antagonista, o início de sua atividade ocorreria, mais tarde, para movimentos realizados em distâncias maiores⁴.

Por outro lado, para movimentos realizados em diferentes velocidades, mudaria a estratégia utilizada pelo SNC para modular a atividade EMG, agonista e antagonista. A intensidade de ativação da musculatura agonista seria maior para movimentos mais rápidos, porém a duração do primeiro envelope permaneceria constante. Com relação à atividade antagonista, esta ocorreria mais cedo para movimentos com velocidades maiores. Essa estratégia de controle para movimentos realizados sob a demanda de diferentes urgências de velocidade angular foi denominada *Speed Sensitive Hypothesis*⁵.

Esses fatos observados nos levam a concluir que, dependendo da instrução dada ao sujeito para a realização de uma tarefa motora, o SNC pode utilizar estratégias diferentes para controlar padrões de ativação muscular, e esses parecem ser modulados de forma que garan-

tam eficiência ao sistema de controle motor. Por exemplo, a modulação da latência antagonista para movimentos realizados em diferentes amplitudes articulares prolonga o início da aplicação do freio, favorecendo a geração de movimentos mais velozes para distâncias maiores^{4,5}.

As estratégias descritas acima foram utilizadas para explicar a geração de padrões musculares de movimentos uniarticulares de flexão do cotovelo restritos a um manipulando. Almeida e Latash⁶ compararam tarefas uniarticulares de flexão do cotovelo com as de cotovelo e ombro, realizadas sem restrições, em um manipulando, no plano horizontal, e executadas em diferentes distâncias angulares. Os resultados desse estudo demonstraram que, para ambas, os padrões de ativação muscular foram similares aos descritos pela *Speed Insensitive Strategy*⁴. A única exceção foi a latência antagonista do músculo deltóide posterior na tarefa de flexão do ombro. Nessa condição, não houve a modulação da latência antagonista com o aumento da distância do movimento. Em outras palavras, as regras estabelecidas pela *Speed Insensitive Hypothesis*⁵ não poderiam explicar completamente a modulação da atividade EMG de movimentos de flexão do ombro realizados contra a ação da gravidade.

Em estudos mais recentes, Gottlieb⁷ comparou movimentos uniarticulares de apontar com os de reversão do cotovelo realizados em um manipulando. O objetivo principal desse estudo foi verificar se as regras descritas previamente são específicas para movimentos uniarticulares de apontar ou se elas poderiam ser aplicadas a outros tipos, como mover-se em direção a um alvo com retorno imediato à posição inicial (movimento de reversão). O raciocínio que subjaz a esse estudo é que movimentos uniarticulares de reversão apresentariam padrões cinemáticos (ângulo, velocidade, aceleração) e eletromiográficos idênticos aos movimentos uniarticulares de apontar, pelo menos no que diz respeito ao movimento de ida em direção ao alvo.

O padrão trifásico de ativação muscular também foi observado para movimentos uniarticulares de reversão. A novidade é que, nesse

caso, o envelope de atividade agonista foi abruptamente “desligado”, sendo possível distinguir envelopes claramente separados. Resultados similares foram observados por Schmidt et al.⁸ e Sherwood et al.⁹. Segundo Gottlieb⁷, esse fenômeno permite que o torque flexor diminua mais rapidamente, já que o sujeito terá de retornar o membro à posição inicial e, para isso, precisará gerar um torque em direção oposta (torque extensor). Nas regras estabelecidas pela *Speed Insensitive Strategy*⁵ também foram descritos os padrões de ativação muscular de movimentos uniarticulares de reversão.

Resultados similares têm sido demonstrados por Almeida¹⁰, durante a execução de movimentos de reversão do braço, no plano horizontal, envolvendo as articulações do ombro e cotovelo, em diferentes orientações espaciais. O dado adicional apresentado é que a orientação espacial influencia a quantidade de força gerada pelos músculos em relação ao total de atividade EMG.

Esse conjunto de regras é baseado na idéia de que a atividade eletromiográfica e a força muscular são variáveis fisiologicamente relacionadas, isto é, ambas são geradas por um pulso de excitação (potencial de ação)⁴ e padrões eletromiográficos refletem a convergência, nos neurônios motores e interneurônios na medula, de comandos centrais e periféricos.

Existem vários estudos que ratificam essa idéia^{11, 12}, demonstrando a existência de uma forte correlação entre atividade EMG e força gerada nas articulações (torque muscular). Recentemente, Almeida et al.¹³ demonstraram uma alta correlação linear entre essas duas variáveis em todas as fases de um movimento de reversão do braço, envolvendo as articulações do ombro e cotovelo.

Todos os estudos citados revelam comportamentos observados no nível articular (informação intrínseca). No entanto, não é possível deixar de mencionar algumas evidências de que o sistema nervoso controla os movimentos a partir de variáveis extrínsecas e não intrínsecas^{13, 14, 15, 16}. Vários estudos têm demonstrado que

o SNC utilizaria as informações extrínsecas (i.e. velocidade linear do dedo) e não as informações intrínsecas (i.e. ângulo articular) para controlar os movimentos.

Morasso¹⁷ estudou movimentos de alcançar envolvendo as articulações do ombro e cotovelo em diferentes orientações espaciais e alvos, sem que os sujeitos tivessem a informação visual do braço. Nesse experimento, foi observado que, apesar das diferentes combinações de ângulo articular (informação intrínseca) a velocidade linear da mão (informação extrínseca), apresentou sempre o mesmo perfil, ou seja, um único pico. Baseado nas invariâncias da velocidade linear, Morasso¹⁷ propôs a “Hipótese do Controle Espacial”, em que o comando central para os movimentos especifica a trajetória da mão, e não o movimento das articulações. Esse controle implicaria existência de um mecanismo para transformar comandos motores espaciais em padrões de ângulos articulares. Conclusões similares foram feitas em outros estudos^{14, 15, 16}.

Como observado no modelo da *Dual Strategy Hypothesis*^{4, 5}, para o controle dos movimentos, as regras são definidas a partir de parâmetros intrínsecos (i.e. padrões de atividade EMG). No entanto, invariâncias observadas tanto para parâmetros intrínsecos quanto extrínsecos não respondem à questão se o SNC planeja os movimentos em termos de padrões de ativação muscular ou de deslocamento linear do membro no espaço. A verdade é que qualquer dos dois modelos de controle motor utilizados exigiria uma transformação interna do SNC¹⁷, por exemplo, ao assumir que o SNC planeja os movimentos em termos de deslocamento linear do membro no espaço. Nesse caso, ele teria de, em algum nível, determinar os padrões de atividade EMG, computar os torques e gerar o deslocamento angular nas articulações.

Marconi¹⁸ solicitou que indivíduos saudáveis realizassem movimentos de reversão do braço em várias regiões do espaço. Durante a execução desses movimentos, eles tiveram informações somente sobre o deslocamento angular do cotovelo (*feedback* intrínseco) e a direção do movimento

(tarefa intrínseca). Isso foi feito, utilizando-se um eletro-goniômetro acoplado à articulação do cotovelo e uns óculos que impediam a visão do braço. A autora demonstrou a existência de um acoplamento entre os envelopes de atividade EMG e os impulsos do torque muscular gerados nas articulações do ombro e cotovelo. O acoplamento entre atividade EMG e torque muscular poderia ser definido como uma preferência do SNC pelo controle intrínseco dos movimentos.

Além disso, houve um acoplamento entre atividades musculares e impulsos com a velocidade linear do dedo indicador que foi denominado *Building Block Strategy*. De acordo com essa estratégia, existe uma co-variação linear entre os parâmetros intrínsecos (atividade EMG e torque muscular) e extrínsecos (velocidade do dedo indicador) durante a execução de movimentos de reversão do braço realizados em várias regiões espaciais.

Do ponto de vista do planejamento do movimento, esse estudo de Marconi¹⁸ demonstrou que o SNC deve utilizar as informações extrínsecas para controlar os deslocamentos. Dados que confirmam essa idéia foram obtidos com a análise da acuracidade na execução das manobras. A invariância na trajetória e na velocidade do dedo indicador também dá suporte à idéia de que o SNC planeja os movimentos a partir de variáveis extrínsecas.

Do ponto de vista da execução do movimento, a *Building Block Strategy* simplificaria a tarefa do SNC de controlar os movimentos ao nível articular, ao da coordenação entre as articulações e ao da transformação de variáveis extrínsecas para intrínsecas.

Mais recentemente, Freitas SMSF et al.¹⁹ (dados não publicados) compararam o desempenho motor durante tarefas realizadas na presença de informações extrínseca (tarefa extrínseca) e intrínseca (tarefa intrínseca). Durante a tarefa extrínseca, informações visuais sobre o segmento em movimento, direção do movimento e localização do alvo estavam disponíveis. A contribuição da informação usada para planejar e controlar os movimentos foi investigada pela análise do erro variável e das elipses de variabilidade.

Embora as características cinemáticas dos movimentos (velocidade linear do dedo indicador, deslocamento e velocidade angular do ombro e cotovelo) tenham sido similares em ambas as tarefas, há evidências de que os movimentos são planejados no nível extrínseco. Em outras palavras, os sujeitos foram mais precisos durante a tarefa extrínseca e a variabilidade do movimento foi maior durante a intrínseca. A conclusão de Freitas SMSF et al.¹⁹ é similar à de Marconi¹⁸.

Conclusão

As invariâncias observadas nas variáveis extrínsecas (i.e. velocidade linear do dedo indicador, deslocamento e velocidade angular do ombro e cotovelo), associadas a maior precisão nos movimentos quando esses são realizados sob a demanda de tarefa extrínseca, sugerem que o SNC utiliza esse tipo de informação para planejar e controlar manobras de reversão do braço. Além disso, o SNC utiliza as informações extrínsecas para prever, com precisão, as forças geradas nas articulações e atividade muscular necessárias à execução do ato motor. A existência de uma correlação entre variáveis extrínsecas e intrínsecas pode ser uma estratégia adotada pelo SNC para reduzir o número de variáveis a serem controladas durante a execução de um movimento complexo¹⁸.

Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos à Diretoria de Pesquisa da Universidade Nove de Julho e à Fapesp pelo apoio e incentivo à pesquisa.

Referências

1. Gottlieb GL, Corcos DM, Agarwal GC. Strategies for the control of single mechanical degree of freedom voluntary movements. *Behavioral and Brain Sciences*, 1989b;12(2):189-210.

2. Hallett M, Shahani, BT, Young, RR. EMG analysis of stereotyped voluntary movements in man. *J Neurol Neurosur. Psychiatry.* 1975;38:1154-62.
3. Hannaford B, Stark L. Roles of the elements of the triphasic control signal. *Exp Neurol.* 1985;90:619-34.
4. Gottlieb GL, Corcos DM, Agarwal G C. Organizing principles for single joint movements: I - A Speed-Insensitive strategy. *J Neurophysiol.* 62(2):342-57, 1989a.
5. Corcos DM, Gottlieb GL, Agarwal GC. Organizing principles for single joint movements: II - A speed-sensitive strategy. *J Neurophysiol.* 1989;62:358-68.
6. Almeida GL, Latash ML. Paradoxical effects of practice of fast single-joint movements. *Med Sc Sports Exerc.* 1995;27(11):1-10.
7. Gottlieb GL. Muscle activation patterns during two types of voluntary single-joint movement. *J Neurophysiol.* 1998;1860-7.
8. Schmidt RA, Sherwood DE, Walter CB. Rapid movements with reversals in direction. I. The control of movement time. *Exp Brain Res.* 1988;69:344-54.
9. Sherwood DE, Schmidt RA, Walter, CB. Rapid movements with reversals in direction II. Control of movement amplitude and inertial load. *Exp Brain Res.* 1988;69:355-67.
10. Almeida GL, Ferreira SMS, Marconi NF. The effect of extrinsic feedback on the pattern of muscle activation and muscle torque during planar reversal movement. Under preparation].
11. Almeida GL, Corcos DM, Latash ML. Practice and transfer effects during fast single-joint elbow movements in individuals with Down syndrome. *Phys Ther.* 1994;74(11):1000-16.
12. Gottlieb GL, Song Q, Hong DA, Almeida GL, Corcos D. Coordinating movement at two joints: a principle of linear covariance. *J Neurophysiol.* 1996;75(4):1760-4.
13. Almeida GL, Freitas SMSF, Marconi NF. Coupling between muscle activities and muscle torques during horizontal-planar arm movements with direction reversal. *J Electromyogr Kinesiol.* 2006;16(3):303-11.
14. Abend W, Bizzi E, Morasso P. Human arm trajectory formation. *Brain.* 1982;105:331-48.
15. Bernstein N. The coordination and regulation of movements. Oxford: Pergamon Press; 1967.
16. Kaminski TR, Gentile AM. A kinematic comparison of single and multijoint pointing movements. *Exp Brain Res.* 1989;78:547-56.
17. Morasso P. Spatial control of arm movements. *Exp Brain Res.* 1981;42:223-27.
18. Marconi NF. Controle motor em indivíduos neurologicamente normais e portadores da síndrome de Down: O efeito do feedback intrínseco [dissertação]. Campinas (SP): Universidade Estadual de Campinas; 2000.
19. Freitas SMSF, Marconi NF, Almeida GL. Effect of extrinsic and intrinsic information on the planning of movements with direction reversal. Dados não publicados.