

3.1 Programação

3.1.1 Introdução e contexto histórico

Quando se considera a linha de pesquisa soviética, a presença de **Nikolai Bernstein** é imponente. Devemos muito a sua pesquisa sobre o movimento humano, é dela que tiramos noções como redundância e tudo relacionado a problemas de graus de liberdade de movimento.

Em meados do século XX, Bernstein participou do debate sobre a repetição no movimento humano e discussão sobre se a volição humana abandona o controle durante movimentos repetitivos. Naquela época, era discutido se no ato da marcha (militar), a volição renunciava a todo controle motor. A partir desses debates surgiram, por exemplo, o passo de ganso, a marcha em que o pêndulo ou fase de recuperação possui controle voluntário para aumentar a flexão do quadril.

O passo de ganso, que mais tarde foi adotado pelos militares alemães, era uma marcha que garantia que o controle ou volição regulassem o movimento humano o tempo inteiro e, pelo mesmo motivo, soldados não eram capazes de abandonar qualquer aspecto do funcionamento motor. Por isso, foi incorporado no exército e em desfiles daquela época.

Mark Latash, o tradutor do trabalho de Bernstein do russo para o inglês, concentrou a maior parte da sua pesquisa no problema da repetição no movimento humano. Ele acreditava que não importava se um movimento fosse repetido um número infinito de vezes, nenhum movimento é igual; há sempre variabilidade intrínseca e essa variabilidade traz consigo consequências para os métodos de ensino.

Vladimir Lenin, filósofo e estadista político, foi o primeiro a estabelecer sob sua direção em 1922 o primeiro centro para estudo do movimento humano na Europa (onde Bernstein também estudou). Lenin acreditava que uma grande parte da economia dependia da análise dos movimentos dos trabalhadores para poupar energia e evitar lesões por excesso de uso. Assim, ele propôs um programa que iria compensar as consequências de movimentos anti-ergonômicos, assimétricos e desequilibrados por movimentos mais econômicos. Dessa forma, para Lenin, quanto mais eficiente e segura a forma na qual os trabalhadores podiam desempenhar seus trabalhos sem sofrer efeitos de saúde, mais produtiva e economicamente próspera seria a nação.

Citamos o exemplo mencionado acima porque achamos que seria uma ideia excelente a ser implementada hoje em dia em que grande parte dos problemas da população, criando custos adicionais para o Estado, se dão pela falta de movimento ou movimento ruim entre a população.

Atualmente, vivemos em uma época em que o movimento humano precisa ser extensivamente estudado novamente. Isso não se trata só de esportes, mas também para se desenvolver estratégias e políticas para evitar que surjam consequências negativas da falta de movimento ou movimento impróprio. Da mesma forma, o estudo do movimento contribuiria para desenvolver objetivos para melhorar a qualidade de vida e o crescimento econômico.

Em meados do século XIX, John Hughlings Jackson também contribuiu com seus próprios estudos para a pesquisa sobre o caráter funcional do movimento humano. Ele é conhecido por sua célebre frase: “o sistema nervoso central sabe nada sobre músculos, só sobre movimentos”.

Figuras de referência no estudo do movimento humano nos séculos XIX, XX e XIX

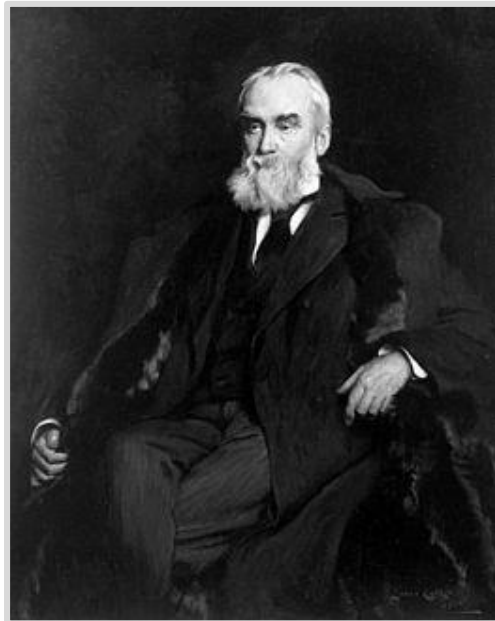


Fig. 1. Acima: John Hughlings Jackson. Tirado de <https://goo.gl/1a00Jt>
Embaixo, à esquerda: Nikolai Bernstein. Tirado de <http://goo.gl/lfcXLT>
Embaixo, à direita: Mark Latash. Tirado de <http://goo.gl/9QYYyV>

Esse conceito é muito importante para se compreender que, através da articulação de movimentos, os humanos desenvolvem soluções adaptativas a ambientes complexos em que o músculo é contingente ao movimento e não o movimento ao músculo.

Esse aspecto funcional do movimento humano era tão importante que

marcou uma tendência na época.

Tendo completado essa visão geral rápida da história, vamos analisar agora como uma sequência específica de “nervo-músculo” é construída, a mesma sequência que torna o movimento possível.

O movimento, no fim, é uma sequência de ações musculares; em resumo, é o agrupamento de subgrupos de ações musculares ocorrendo para que os segmentos de ossos se movam.

Isso remete a discussões contemporâneas muito interessantes e permite que nós vejamos como estudiosos do movimento fisiológico têm debatido esses tópicos calorosamente. Como mencionado anteriormente, foi Nikolai Bernstein que levantou os problemas que estamos discutindo aqui. Mais tarde, Bernstein foi exilado por Stalin, deixando uma Rússia então dominada pelo **paradigma pavloviano**, um modelo mais conveniente para a época desde que o conceito de “homem” foi reduzido à ideia de só ser capaz de produzir e consumir. **Nikolai Bernstein** entendeu que, pesquisando o movimento, era possível compreender o cérebro humano e que quando a neurociência da volição é estudada, a neurociência da ação motora também está implicada. Entre outras coisas, Bernstein expôs que o movimento era o meio de se entender a humanidade. O argumento mencionado acima nos leva diretamente ao problema da programação neuromotora.

Temos movimentos armazenados no nosso cérebro ou temos que construí-los? Cada movimento é armazenado no cérebro ou há apenas um armazenamento parcial, pressupondo uma tomada de decisão tardia e tarefa de aperfeiçoamento? Na Rússia, os dois paradigmas competiam um contra o outro pela dominação. De um lado, a posição pavloviana tradicional apoiava a ideia de que os movimentos são simétricos e são repetidos como tais; por outro, Bernstein discordava argumentando que a repetição pertencia a níveis de organização mais baixos e que se a complexidade fisiológica fosse maior, a repetição de movimentos se mostraria impossível.

Nesse sentido, Bernstein sustentava que a complexidade fisiológica do corpo humano não permitia que movimentos fossem repetidos. Ele argumentava que apenas organismos básicos repetiam ações e que a *não repetição* era, na verdade, uma estratégia de sobrevivência altamente importante. Pelo bem da sobrevivência, essas estratégias se relacionam diretamente com a variabilidade motora. Quem repete movimentos? Predadores mostram o grau mais alto de variabilidade motora, enquanto as presas representam os organismos com os níveis mais baixos de variabilidade.

Seres humanos não repetem movimentos. Organismos unicelulares, básicos e de baixa complexidade repetem movimentos. Quanto maior a complexidade, menor a possibilidade de repetição; portanto, a não

repetição é uma vantagem biológica para a sobrevivência. Cada movimento nos seres humanos varia e quanto maior a variação, maior as chances de sobrevivência.

Por outro lado, o pensamento pavloviano sustentava que o movimento era repetível. Em relação a isso, o conceito de Pavlov estava perfeitamente alinhado com a ideologia política dominante na Rússia naquela época. Isto é, essa ideia ia completamente ao encontro das aspirações de Lenin e Stalin.

No nosso caso, estamos mais inclinados a aceitar a teoria de Bernstein. A pergunta fundamental é: O que seria necessário para não depender da repetição? Estamos questionando aqui especificamente sobre as condições biológicas que permitem a variabilidade ilimitada. Bernstein justificou o conceito de variabilidade com base na invariabilidade de outro aspecto. Para acontecer a variação, algo deve permanecer inalterado: em resumo, deve haver algo estável que permite tal variação.

3.1.2 O conceito de programação

Como mencionado anteriormente, Nikolai Alexandrovich Bernstein realizou o seu primeiro estudo científico em 1922, quando ele e outros pesquisadores foram convidados pela primeira vez para estudar o movimento no Instituto Central de Trabalho em Moscou. O propósito do estudo era otimizar a produtividade, baseando sua análise nas observações do ato de se cortar metal com um cinzel. As **técnicas ciclográficas** usadas no estudo para rastrear o movimento humano seriam usadas mais tarde por muitos dos seus outros experimentos. Sua pesquisa descobriu que a maioria dos movimentos, como bater um cinzel com um martelo, são compostos por movimentos menores. Se qualquer um dos movimentos menores mudasse, afetaria o movimento como um todo (Di Santo, 2014).

Bernstein via o movimento como uma porta para se compreender o cérebro humano e seu principal questionamento era se os movimentos são repetidos ou não. Para recordar, a posição tradicional (pavloviana) afirmava que dois movimentos poderiam ser idênticos. No entanto, Bernstein se opunha a essa ideia. Sua teoria enfatiza que os seres humanos não repetem movimentos como organismos unicelulares, básicos e de baixa complexidade. Quanto maior a complexidade, menor a possibilidade de repetição, portanto cada movimento humano é diferente.

É daí que tiramos o conceito de **programação motora**, que consiste em destacar uma sequência de ações antes que elas ocorram, estabelecendo de antemão uma sequência de ativações musculares em

uma ordem precisa. Em termos neurais, ela carrega um padrão de conexões específicas entre os sistemas nervoso e muscular, cujo desenvolvimento, organizado em tempo, é o movimento propriamente dito.

Podemos indicar a ação de programação em duas dimensões separadas:

Por um lado, há as **invariantes ou engramas**. Esses padrões de conexão neural e memória motora são armazenados para serem usados em movimentos. Por outro lado, há **parâmetros**: esses são os protagonistas da ação que não formam uma parte da memória motora, mas são, mesmo assim, exigidos para a programação.

Programar um movimento é uma ação, então o que está sendo discutido não é uma estrutura anatômica, mas a função que exige correlatos anatômicos. O **ato de parametrizar uma invariante** consiste em: escolher os protagonistas mais apropriados para que o desenvolvimento de um engrama seja bem sucedido em termos de se obter a melhor adaptação possível ao ambiente, tanto de sobrevivência quanto reprodutiva. Portanto, isso inclui a tarefa de tomar a decisão entre protagonistas alternativos para a melhor escolha possível.

A parametrização de uma invariante gera assim uma série ou sequência de ativações musculares que, na medida em que desenrolam, criam o movimento. Abaixo está uma imagem que espera-se que esclareça a explicação acima.

Figura 2: Parâmetros dos Programas Motores



Fonte: Elaborado pelo autor

Parâmetros não formam parte do traço ou “engrama” motor, seria desvantajoso se fizessem.

Figura 3: Contingência



Fonte: Elaborado pelo autor

Existem outros componentes para parametrização, mas nenhum deles formam parte do engrama.

Os componentes de parametrização são os seguintes:

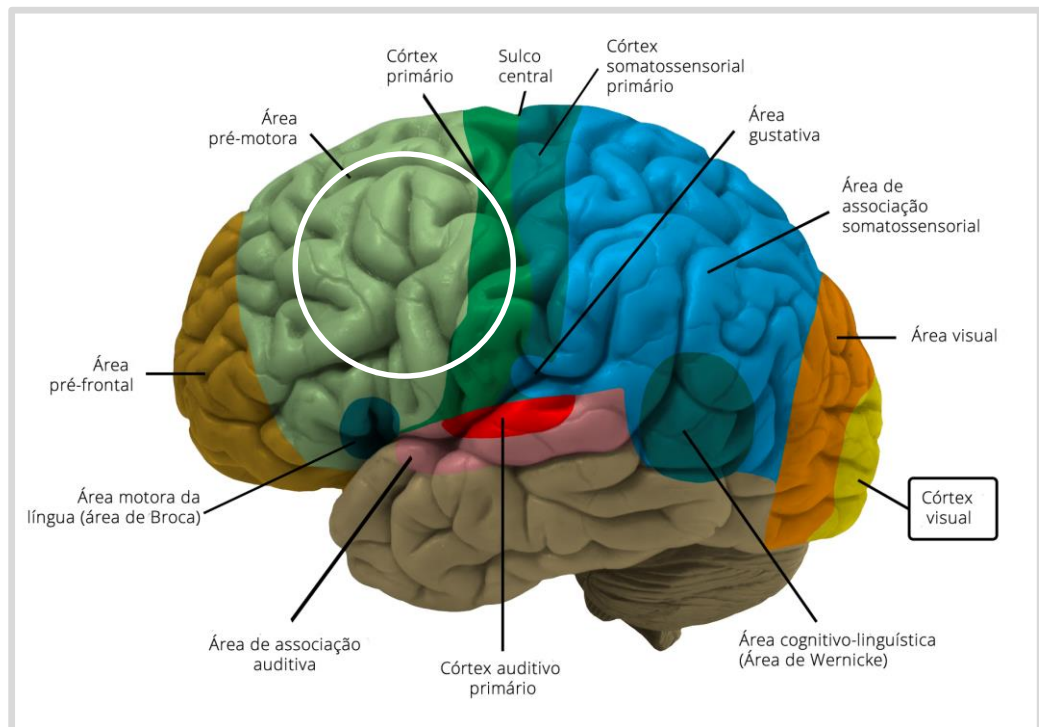
- Frequência.
- Sincronização.
- Recrutamento.
- Estabilidade intramuscular.
- Tônus muscular.
- Inibição.
- Sinergias.

No entanto, surgem vários ajustes durante o movimento que dependem do feedback.

Quando treinamos, escolhemos os melhores protagonistas para um determinado cenário. Se esses protagonistas estiverem indisponíveis ou fatigados, recorreremos às próximas melhores possibilidades. Para começar, sempre tendemos a escolher a melhor versão, mais tarde recorrendo às alternativas e só por fim escolhemos a partir do que estiver disponível no momento. O conceito de **sempre treinar a melhor versão** é crucial; isto é, sempre ter disponível os protagonistas mais

eficientes. É por isso que é vantajoso mudar o engrama, ativando outros protagonistas ou parâmetros (de novo, o mais eficiente) antes que aconteça a fadiga causada pelo excesso de uso do protagonista, forçando a se usar atores menos ideais. Para esse fim, a alternância e variação motora são importantes para se evitar e escapar da fadiga, e para encontrar nossas melhores versões (Di Santo, 2015).

Figura 4: Onde acontece a programação?



Fonte: Adaptado de Psicobiología del género homo, 2015. Tirado de <http://goo.gl/qfMwss>

Onde acontece a programação? Tudo indica que acontece na **área pré-motora** ou área 6 de Brodman, uma área muito importante para se planejar as ações motoras. Para compreender a programação com uma função, é importante compreender que é contingente e que não faz parte do traço ou engrama motor.

3.1.3 Peça de teatro e apresentação de orquestra como analogias para a programação neuromotora

Peça de teatro

A metáfora da produção de palco vai nos ajudar a compreender melhor a programação motora. Contém um roteiro, um esboço e atos. Há todos os tipos diferentes de atores: protagonistas, coadjuvantes e extras, até substitutos para os papéis principais. Há também um diretor e um palco que deve ser mantido. Há um contexto e um público. A correlação entre os dois pode ser expressa da seguinte forma:

O roteiro: a peça em si, não muda com o tempo e, ainda assim, pode ser levemente corrigida ou ajustada.

Os atores: são contingentes, isto é, eles são os músculos que, assim como os atores, têm papéis principais, secundários e coadjuvantes, entre outros.

O diretor: a correlação seria com um subsistema responsável por escolher os atores corretos para que a peça seja um sucesso.

O palco: sem dúvida, o tônus muscular é um tipo de cenário que oferece suporte para o ato principal e estabilidade dos atores.

Nessa analogia com uma peça de teatro, a representação da peça é o programa, assim como a peça em si. Os atores são os programas, isto é, eles seriam a ação através da qual essa peça (invariante) é realizada. Os programas estão estreitamente relacionados com a tomada de decisões sobre quem serão os protagonistas da peça.

Se a peça dependesse de um protagonista, se o parâmetro fosse mais importante que o invariante, se houvesse uma opção fixada, a peça jamais seria capaz de seguir em frente. Seria uma terrível desvantagem biológica se o músculo armazenado na memória não pudesse mudar uma vez que, por exemplo, se algum tipo de problema ou lesão ocorresse naquele músculo, o programa não poderia ser iniciado; no entanto, é uma vantagem biológica que os atores são, na verdade, contingentes.

É muito interessante compreender essa ideia, especialmente para detectar e determinar se o erro está no engrama ou no parâmetro, porque cada um requereria metodologias corretivas muito diferentes. Um problema de parâmetro pode ser detectado quando uma distribuição espacial ou temporal do movimento está correta, mas os protagonistas errados foram selecionados. Se isso acontecer, o movimento não é executado como esperado.

Também pode ser inferido que há um déficit no engrama em si, em que o onde e quando do movimento é desconhecido. Se você mudar o engrama, a peça também muda e o movimento se torna diferente. Se você fizer ajustes corretivos ao mesmo movimento, está afetando o parâmetro.

A peça de teatro serve como uma analogia em que temos roteiro e atores de todos os tipos: protagonistas, coadjuvantes. A escolha inteligente é usar os melhores atores ou, em outras palavras, usar o subsistema do cérebro que programa sem nem usar as opções ruins. Isto é, sem dúvida, o que distingue atletas de alto desempenho de amadores. Os atletas que não se tornam profissionais sempre usam versões ruins ou protagonistas ruins.

Embora os melhores atores nem sempre podem ser usados, podemos conseguir alternativas: se algo acontecer a eles, há outros para tomarem seu lugar. Por exemplo: se o músculo supra-espinal é um abductor e for lesionado, não seria mais possível realizar esse movimento e, ainda assim, atores coadjuvantes podem cobrir pelos atores principais e realizar o movimento em qualquer caso.

Descobrimos que os subsistemas estão fortemente envolvidos nesse processo. Seguindo a metáfora, o diretor não estaria no comando de tudo, como do palco e do cenário. Outros subsistemas são diretamente responsáveis pelo cenário apoiando a ação.

Quem é o diretor?

Dizer que o cérebro é o diretor seria superficial. Dizer que o cérebro inteiro está no comando da programação seria um holismo gentil, uma afirmação de que uma lesão pequena em qualquer parte do cérebro alteraria a programação para todos os movimentos. Por exemplo, se você tivesse um derrame em uma parte pequena do cérebro, você perderia todo o seu repertório motor. Por outro lado, dizer que um único neurônio é responsável seria atribuir muito poder àquele neurônio. Santiago Ramón e Cajal fizeram exatamente isso, atribuíram a um único neurônio todo o poder. Uma afirmação mais coerente seria dizer que **os subsistemas de uma população neural** são responsáveis pelo neurônio.

Da mesma forma, faz mais sentido dizer que certos subsistemas cerebrais estão no comando de montar toda a peça: não só dos testes e da escolha final, mas também dos possíveis subsistemas candidatos. Os diretores possíveis para o processo de programação motora são: o córtex pré-frontal, o córtex frontal, os núcleos da base e o tronco cerebral.

Produzir um movimento é tão complicado e variável que é difícil acreditar que só um subsistema seria responsável por cada detalhe. No

entanto, é difícil descartar essa ideia, a que insiste em dizer que é você quem está decidindo não só o programa motor, mas sua execução. O conceito de que um diretor ou alguma entidade similar está habitando seu cérebro revive uma certa nostalgia dualista.

Orquestra musical

A trilha sonora, a música em si, isso não varia. No máximo, pode só ser ajustada através de pequenas alterações. Podem haver várias versões e várias interpretações. A sinfonia em si, a **“melodia cinestésica”**, é necessária e insubstituível (Luria, 1973); o resto é contingente.

3.1.4 correlatos neurais da programação motora

Onde acontece a programação motora? Acontece em duas áreas: na **área 6 do córtex pré-motor**, onde há um nível mais alto de atividade quando se constrói ou planeja um movimento; foi descoberto que a **área motora suplementar** também possui um papel. Seguindo isso, a pré-AMS tem um papel fundamental em decidir e ativar os programas. Portanto, quem constrói o programa não é o mesmo que decide sua execução ou quem executa o programa. Você pode ser genial em construir programas, mas daí fazer escolhas ruins quando for o momento de implementar o programa.

A programação depende da intervenção de outros setores, principalmente do **córtex pré-motor**, do **córtex motor**, da **circunvolução frontal ascendente** e, um pouco mais alta e voltada para dentro, em direção ao corpo caloso, a **área motora suplementar** participa em movimentos que são mais complexos que os movimentos habituais. Claro, dependendo da experiência da programação neuromotora, ações de programação mais complexas requerem mais ou menos ajuda da AMS.

John Eccles (1994) achava que o assento da alma era a área motora suplementar porque, no fim, a alma se manifesta pelo movimento. Ele manteve a hipótese de que esse setor era o assento das interações alma-cérebro.

Essa sequência, embora possível, não é necessária. Não é necessária porque um programa de ação pode ser acionado sem a mediação de uma ação voluntária. Se houver uma resposta imediata a um estímulo, não encontramos mediação da AMS ou da pré-AMS, mas ao invés disso, a mediação do córtex pré-motor. Se decidir cobrar um pênalti, a AMS vai mediar sem uma resposta por estímulo; ou se o estímulo e o começo da ação forem separados por qualquer período de tempo, como por exemplo, quando o juiz apita para indicar o começo da ação.

Portanto: **A área pré-motora para programação e a pré-AMS para iniciar e executar uma ação.** Há outros setores do córtex frontal que também ativam o trato corticoespinhal (não só o MP1), embora sem o protagonismo do MP1. Essa seria uma base interessante para estudo e pesquisa: Se não a partir do MP1, da onde vem os dados que permitem a ativação dos tratos corticoespinhais e do sistema motor?

A AMS pode intervir quando uma decisão de começar um movimento não é crucial; quando a resposta de um movimento é imediata e não há decisão de colocar em prática. O cerebelo pode agir com o objetivo de ativar novos programas motores além do programa inicial, por exemplo, criando uma ação particular para se permanecer em pé. Esse órgão pode corrigir o programa ou, se necessário, alterá-lo. Alterar a parametrização do engrama demora entre 400 e 600 milissegundos; alterar o programa inicial demora mais tempo, pesquisas apontam que mais de 800 milissegundos.

Uma vez que um engrama é parametrizado e o movimento é construído, o MP1 entra em ação. O **cerebelo** também está envolvido e sabemos que ele fará todos os ajustes necessários antes, durante e depois do movimento. Os **núcleos de base** recebem uma cópia do programa e ativam o sistema motor gama a fim de criar o cenário ideal para apoiar a ação. O núcleo accumbens reforça o circuito com dopamina, isto é, sensibiliza a membrana pós-sináptica e facilita a ativação caso o movimento precise ser repetido.

O que esse programa ativa?

Esse programa ativa dois subsistemas: um envolve a AMS, a pré-AMS e os núcleos de base, e o outro é uma conexão direta entre o lobo parietal e o córtex pré-motor. Esse tópico merece atenção por ser de grande importância antropológica.

Como o programa é comunicado? Esse é um problema diferente. Depois que a AMS decide colocar o programa motor em ação, deve haver uma conexão entre a área 6 e a área 4 para que o programa selecionado seja implantado. Deve haver uma conexão entre as áreas 6 e 4 através do **plexo** para que a sequência pré-estabelecida na área 6 ative os piramidais na área 4.

- **Área 6:** é programática.
- **Área 4:** implanta o programa.
- **Área motora suplementar:** veta ou permite que o programa seja implementado (dependendo da secreção hormonal afetada pelo núcleo accumbens). O cerebelo, os núcleos de base e o núcleo accumbens regulam o processo.

Ações reflexivas não mostram participação cortical (embora todas as ações reflexivas possam se tornar um objeto de conhecimento para a

consciência), mas demonstram um circuito em que estruturas corticais de tomada de decisões não interferem; no entanto, isso inclui uma sinergia complexa, motivo suficiente para nos opormos ao conceito de reflexo como uma simples resposta ao estímulo que prova, através do exemplo, a inibição de um antagonista.

Consideramos que um reflexo possa ser muito mais complexo que simplesmente tirar a mão quando estiver queimando. Uma ação de reflexo, no fim, permite uma calibração final da produção do movimento, é o ajuste ou afinação final.

Os micro-movimentos que são produzidos durante o **treinamento instável** ajustam continuamente a parametrização do programa. No caso de ter que mudar o programa devido a uma queda, ou mediante uma queda, outra ação que suponha alguma mudança precisa ocorrer. Enquanto isso está acontecendo, há uma recalibração permanente da parametrização do programa com base na informação proprioceptiva recebida durante a ação. Se continuarmos com os mesmos protagonistas quando estivermos caindo e empregarmos alguns outros, caímos no chão. O cerebelo pode agir para alcançar o objetivo, isto é, não cair. Resumindo, ele pode agir para ativar novos programas. Assim, com base no programa inicial, o cerebelo pode gerar um programa particular para permanecer em pé.

As repercussões metodológicas dessa premissa estão relacionadas ao conceito *qualidade sobre quantidade*. Isso significa que uma atividade não vai simplesmente ser concluída apesar da presença de fadiga; ao invés disso, a melhor versão será tentada várias vezes. Quando uma dada versão começa a falhar por qualquer motivo, deve ser encerrada. No treinamento de resistência, o método intermitente tenta evitar a fadiga com pausas para que a melhor versão possa ser realizada várias vezes. Implicam em mudança, já que evitar fadiga é uma simples questão de treinar a parametrização dos movimentos motores em uma variedade de formas com protagonistas distintos; assim, quando um fica fatigado, outros protagonistas são ativados para completar o objetivo.