2.1 Cerebelo

2.1.1 Estrutura do cerebelo

O **cerebelo** é o maior órgão do encéfalo e está localizado atrás da protrusão e do bulbo, na fossa craniana posterior.

O cerebelo é dividido em dois hemisférios, separados pelo **vérmis cerebelar** (este é uma importante estrutura, localizada na região média do lobo posterior e anterior). O vérmis é o fim do caminho para muitos sinais somáticos de várias partes do corpo. Também desempenha um papel muito importante na gestão da postura em processos subconscientes.

O cerebelo também pode ser dividido em três lobos, a saber: **o lobo flóculo-nodular, o lobo anterior e o lobo posterior**, também conhecido como lobo medial.

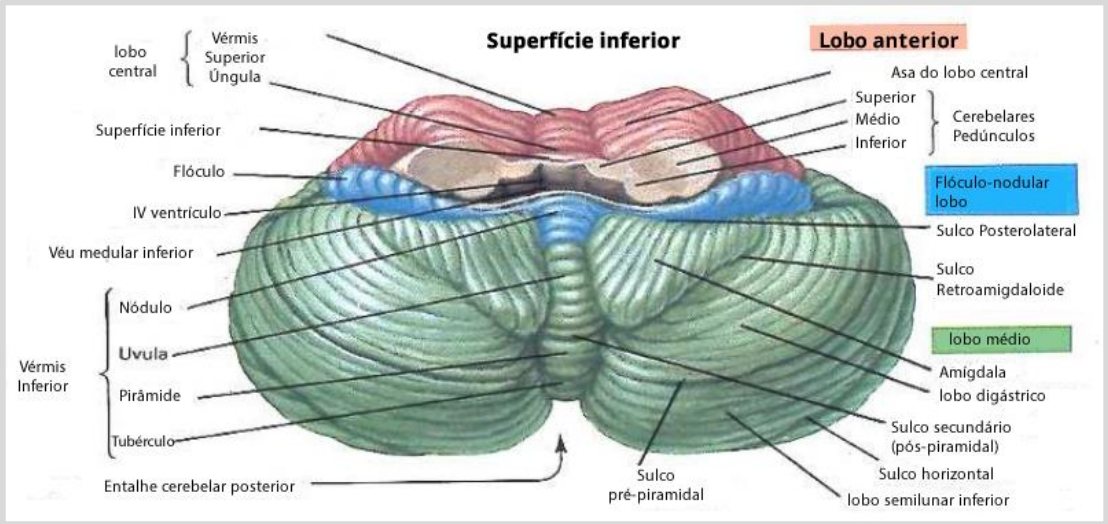
- **Lobo posterior:** Essa é a maior parte do cerebelo e está localizado entre as fissuras primária e a nodular da úvula. É composto de dois hemisférios cerebelares. Também está diretamente relacionado ao córtex cerebral e envolvido no planejamento e na iniciação dos movimentos. Esse lobo "garante a organização automática das funções motoras voluntárias" (Rigal, 1987, p.77).
- **Lobo flóculo-nodular:** Está localizado atrás da fissura nodular da úvula e faz parte do arquicerebelo, que está diretamente relacionado ao sistema vestibular, tornando-o intimamente vinculado ao equilíbrio. "Contribui para o equilíbrio através de sua relação com os núcleos vestibulares, que administram a atividade e os músculos axial e proximal" (Rigal, 1987, p. 77).
- **Lobo anterior**: "Pode ser visto sobre a superfície superior do cerebelo e é separado do lobo posterior por uma fissura em forma de V, conhecida como fissura primária" (Snell, 1999, p. 218). Ele possui conexões recíprocas com a medula espinhal e está envolvido com o tônus muscular. Segundo Rigal (1987), esse lobo controla o tônus postural dos membros durante a locomoção.

Sua estrutura é composta de substância branca no interior, embora possam ser encontrados pequenos aglomerados de substância cinzenta,

denominados **núcleos intracerebelares**, e a substância cinzenta na borda, referida como o **córtex cerebelar**, que é constituída por três camadas:

1) Camada molecular: contém dois tipos de neurônios, chamados: **células estreladas externas e células em cesto internas.**
2) Células de Purkinje: Grandes células de Golgi tipo I que se encontram em uma única camada. Os dendritos nessas células dirigem-se para a camada molecular onde se ramificam de maneira extensiva. Um axônio se estende da base dessas células, dirigindo-se para a parte mais profunda do cerebelo, contornando a camada granular e, finalmente, entrando na substância branca. Lá, adquire uma camada de mielina para continuar seu caminho até realizar a sinapse em outras células nervosas dos núcleos intracerebelares (aglomerados de substância cinzenta, alojados na substância branca). Há quatro núcleos: **núcleo denteado, núcleo emboliforme, núcleo globoso** e **núcleo fastigial** (ou **teto**).
3) Camada granular: composta de pequenas células cujos axônios dirigem-se para a camada molecular e se bifurcam em forma de "T" (fibras paralelas) (Snell, 1999).

Figura 1: O cerebelo



Fonte: [Imagem sem título sobre o cerebelo]- (n.d.). Retirado de https://goo.gl/RZPw1E

Segundo Snell (1999), esta é localização anatômica dos vários núcleos cerebelares:

- **Núcleo denteado:** é o maior dos núcleos cerebelares. Assemelha-se a uma bolsa enrugada com um orifício direcionado para seu interior.
- **Núcleo emboliforme:** localizado dentro do núcleo denteado e tem formato oval.
- **Núcleo globoso:** localizado no núcleo emboliforme e é constituído por um grupo de células redondas.
- **Núcleo fastigial:** localizado próximo à linha média do vérmis, próximo ao teto do quarto ventrículo.

Grandes quantidades de substância branca são encontradas nos hemisférios cerebelares e em pequenas quantidades no vérmis. A referida substância é constituída por **fibras intrínsecas, fibras aferentes e fibras eferentes. As fibras intrínsecas** nunca saem do cerebelo. São responsáveis por ligar o córtex cerebelar ao vérmis e, em outras ocasiões, por vinculá-los aos hemisférios cerebelares. As **fibras aferentes** compõem a maior parte da substância branca e dirigem-se para o córtex cerebral, entrando no cerebelo através dos pedúnculos cerebelares médio e inferior. As **fibras eferentes** são as vias de saída do cerebelo. A rota começa através dos axônios das células de Purkinje que entram nos núcleos intracerebelares até a sinapse, enquanto outro grupo de axônios sai do cerebelo sem realizar a sinapse nos núcleos intracerebelares.

"As fibras dos núcleos denteado, emboliforme e globoso deixam o cerebelo através do **pedúnculo cerebelar superior.** As fibras do núcleo fastigial o fazem através do **pedúnculo cerebelar inferior**" (Snell, 1999. p. 223). Os pedúnculos superiores ligam o cerebelo ao mesencéfalo, os pedúnculos médios o conectam à protrusão e os pedúnculos inferiores fazem a conexão dele ao bulbo.

2.1.2 O papel do cerebelo no refinamento motor

O cerebelo é um órgão do SNC que recebe constantemente informações de diversas partes do corpo. O programa motor inicia sua jornada a partir da área 4 até a medula, a informação reaferente (feedback) sobe pela medula espinhal, desvia através da oliva inferior, entra no cerebelo, e em seu córtex ocorre o ato de comparar o que queríamos fazer (valor eferente) com o que estamos realmente fazendo (valor aferente). O papel do cerebelo, então, é

comparar os dois valores e detectar as diferenças. Por isso, ele pode intervir para garantir que o que está efetivamente acontecendo coincide com o que de fato está acontecendo. Em outras palavras, ele coordena e se esforça para fazer com que aquilo que acontece corresponda, da maneira mais próxima possível, com o que planejamos anteriormente.

O cerebelo conta com diferentes vias: pode intervir diretamente no trato piramidal, para que as ações sejam corrigidas, pode intervir na área 6 para ajustar o programa motor e, se necessário, pode alterar o programa motor. Mudar o programa pré-estabelecido nas áreas superiores do córtex leva mais tempo do que ajustá-lo e, se fosse necessário realizar uma mudança, teríamos um atraso, o que, de certa forma, justifica os movimentos de hesitação ou dissuasão. O cerebelo pode trabalhar em dois níveis: **ajustar ou alterar o programa.** O cerebelo é indispensável para a coordenação.

Através de suas múltiplas vias de aferência e eferência, o cerebelo contribui para a regulação e o controle do ato motor, embora a maioria de suas ações não seja consciente. Os **hemisférios cerebelares** antecipam o movimento e "preparam" os músculos que serão envolvidos, enquanto que as zonas intermediárias influenciarão a execução do movimento, estabelecendo os parâmetros para os níveis de força, direção, velocidade e desaceleração necessários para realizá-lo.

O cerebelo está diretamente relacionado aos neurônios motores gama, que pré-ativam as junções neuromusculares e predispõem a musculatura para a ação. Uma vez que o movimento é iniciado, esse órgão é encarregado de comparar a ação que está sendo executada a um modelo "ideal" da ação, e se detectar um erro, pode ajustar ou mudar o programa do motor. É possível que o cerebelo possa antecipar ações errôneas, mas será sempre mais fácil antecipar ações que já ocorreram do que erros produzidos durante novas ações.

O papel do cerebelo de realizar a comparação entre o que é planejado em áreas superiores e o que é executado na prática é possível por este receber uma cópia das eferências motoras ou espinhais centrais e das reaferências proprioceptivas, atingindo, simultaneamente, os neurônios motores alfa, que regulam a potência muscular, e os neurônios motores gama, que ajustam os receptores musculares para posição e velocidade e desempenham uma função vital no controle do desenvolvimento de ações motoras lentas ou rápidas. No caso dos movimentos rápidos e bem instruídos, o cerebelo intermediário garantirá o controle antecipado do erro e os suprimirá antes que aconteçam (Rigal, 1987).

Seguindo os pensamentos de Guyton (2006), o córtex motor envia muito mais estímulos do que o necessário para realizar um movimento específico, razão pela qual uma das ações do cerebelo é a seguinte: uma vez que recebe a aferência do modelo de ativação que será executado, ele envia sinais de inibição para o córtex motor, para que a ação seja a mais próxima possível do programado. O cerebelo analisa a intensidade da força e da velocidade da ação muscular para alcançar, automaticamente, um objetivo específico e envia, de forma instantânea, sinais inibidores aos músculos agonistas e sinais excitatórios aos músculos antagonistas.

O cerebelo possui várias funções que o tornam um órgão indispensável para o controle motor eficiente:

- A primeira dessas funções a ser destacada é a sua **capacidade de retenção:** muitos dos movimentos do corpo são executados de forma pendular. Como qualquer pêndulo, o movimento começa com uma força específica, capaz de superar a finalidade inicial e, como o pêndulo oscila, uma força ou outra vai parar o movimento inicial. No caso do cerebelo, este é responsável por inibir certos músculos e ativar outros, a fim de parar o movimento inicial no momento desejado.
- Outra função importante é a sua **capacidade de predição**: como o córtex cerebral precisa lidar com processos mais complexos, o cerebelo é encarregado de receber as reaferências provenientes de diferentes receptores que nos permitem compreender a posição do nosso corpo ou membros em um espaço específico. Através desses sinais proprioceptivos, pode ser calculada a evolução provável de um movimento, em um período de tempo específico. Embora não seja uma função puramente motora, ela influenciará a maioria das ações motoras (muito importante nos esportes) e está envolvida com a capacidade do cerebelo de detectar, através de mudanças no campo visual, a velocidade com que um objeto se move (Di Santo, 2015).

2.1.3 Correção e alteração do programa do motor

A programação envolve a integração de duas dimensões neuromotoras:

- Uma é **anatômica** (chamada de pegada ou engrama), que é invariante; é o que você retém de movimentos.
- Enquanto a outra é a **parametrização** ou, em outras palavras, a possibilidade de variabilidade ilimitada, significando que os protagonistas do movimento podem ter versatilidade absoluta. Versatilidade é a consequência da invariabilidade que não é mais uma ação, mas algo que está na memória.

Essas duas dimensões constituem **o ato de programar.**

1) **Programar** é escolher quem são os soldados, os protagonistas adequados para realizar o engrama de acordo com as exigências da situação. Obviamente, a seleção de protagonistas depende de qual será mais eficiente na solução do problema de adaptação ao seu ambiente.
2) A **parametrização** é uma ação decisória que permite ao cérebro escolher os protagonistas mais adequados.

No entanto, colocar o programa em conjunto não significa que ele será realizado. Então, onde ocorre a programação neuromotora?

Em última análise, em duas áreas:

- A maior parte da atividade está na **área 6 (córtex pré-motor)**, ao se colocar o movimento em conjunto, planejar e ainda executá-lo. Aqui é onde os engramas são armazenados.
- A função de outras áreas muito importantes também está sendo descoberta, como a **área motora suplementar** e a **área motora pré-suplementar**, que são responsáveis pela ativação do programa.

Com base nisso, podemos dizer que a área que coloca o programa em conjunto não é a mesma que decide executá-lo. É evidente que a experiência em programação neuromotora permitirá que isso aconteça mais rápido. À medida que se ganha mais experiência no movimento, a ação de programação mais complexa solicitará ajuda da AMS.

A 1MC, a área pré-motora e a área motora suplementar são uma sequência possível, mas não obrigatória. Por que não obrigatória? Porque um programa pode definitivamente desencadear uma ação sem que a intenção

seja envolvida. Em outras palavras, ele depende da resposta imediata de um estímulo, sem que seja iniciado, independentemente de qualquer estímulo externo.

Se há uma resposta imediata a um estímulo, não temos qualquer mediação da AMS ou pré-AMS, mas sempre temos a mediação do córtex pré-motor. No entanto, caso se posicione na frente de um goleiro para realizar uma cobrança de pênalti, você terá certamente a mediação da área motora suplementar sem uma resposta a um estímulo, como o árbitro soprando seu apito.

Quais são os parâmetros? Para entender isso, devemos compreender que o músculo não é parte da pegada motora. Seria uma grande desvantagem se fosse. Observe tudo o que um subsistema parametriza e direciona: tente calcular o tempo de todas as velocidades possíveis em milissegundos para cada um dos milhões de vezes que uma bola de futebol foi chutada. Imagine que todas as velocidades possíveis e seus protagonistas permanecem na memória. Quanto tempo o seu cérebro levaria para chutar uma bola em um segundo? É por isso que não seria uma vantagem que tudo pertencesse ao engrama.

Outro componente a se considerar é o recrutamento de unidades motoras, ou seja, quantas fibras musculares vou recrutar. Por exemplo, se cada vez que jogar uma bola de basquete eu tiver que ativar um número específico de fibras do bíceps, passará a ser impossível encontrar o parâmetro certo para cada situação.

O **treino instável** funciona de acordo com esses princípios. Os micromovimentos produzidos pela instabilidade do dispositivo ajustarão a parametrização do programa. Pode haver um momento em que você decida alterar o programa, por estar prestes a cair, e para não cair você deve executar outra ação, o que implicaria uma mudança. Enquanto isso durar, haverá uma recalibração permanente da parametrização do programa na base da informação proprioceptiva que você está recebendo; uma calibração e modulação permanente dos protagonistas ideais para o desdobramento do engrama. Se continuar com os mesmos protagonistas e não utilizar outros conforme cair, vai acabar caindo. O cerebelo pode atuar no sentido de não deixar cair e assim ativar novos programas. O cerebelo pode corrigir os parâmetros do engrama, o que levaria cerca de 80 milissegundos, ao passo que alterá-lo completamente pode demorar entre 400-600 milissegundos. Então, é sempre mais fácil tentar ajustar o mesmo engrama? Qual é a melhor escolha? Isso mostra o erro que tantas pessoas cometem: treinar repetidamente suas piores versões.

Antes de decidir executar, o cérebro já sabe o que você fará, pois é a primeira área a receber as informações. Os núcleos da base também recebem uma cópia do programa, e ativam o sistema motor gama para gerar um tônus de suporte para a ação que será realizada. O tônus muscular é programado pelos núcleos da base (Di Santo, 2015).

O raciocínio por trás do movimento "simulado" no esporte é baseado nos tempos de correção e na mudança do programa motor. Quando simulamos, estamos forçosamente mudando o programa motor, que é muito mais lento do que a sua correção. Alterá-lo leva mais de 400 milissegundos, enquanto a correção só levaria cerca de 80 milissegundos ou menos. Devemos, portanto, treinar a velocidade de correção e a alteração dos programas motores (Di Santo, 2015).

2.1.4 Alterações do movimento devido a lesões do cerebelo

De acordo com as funções do cerebelo, o dano a pequenas partes não teria impacto significativo sobre a vida do indivíduo, desde que se executem movimentos lentos.

Quando o córtex cerebelar sofre uma lesão, outras estruturas nervosas também podem desempenhar algumas de suas funções. No entanto, os distúrbios cerebelares alteram tipicamente os níveis de força, distância e velocidade das ações musculares, o que pode distorcer o ato motor voluntário, tanto na atividade tônica quanto na atividade fásica. Existem diversas condições produzidas por uma disfunção nos núcleos cerebelares, como o núcleo denteado, teto ou interpósito, tais como:

- **Dismetria:** Também conhecida como ataxia. Como já mencionado, uma das principais funções do cerebelo é determinar até onde um movimento deve ir. Se as funções dos feixes espinocerebelares forem afetadas por uma lesão específica, o feedback de várias partes do corpo será distorcido, que significa que a informação que retornar não será suficiente para gerar movimentos precisos e controlados.
  Um dos tipos de dismetria é chamado hipermetria. Essa é uma condição em que a pessoa aflita é incapaz de controlar seus movimentos e, geralmente, vai além do ponto pretendido. Isso acontece quando o córtex motor envia os sinais para realizar uma ação específica; por exemplo, o de alcançar um objeto com uma mão, e os músculos agonistas são ativados, mas o cerebelo é incapaz de

gerar o freio ou o inibidor para o movimento, resultando num ataque do indivíduo ao objeto que ele tentava alcançar (Guyton, 2006).

- **Disartria:** entre suas funções, o cerebelo é responsável pelo controle da sucessão de movimentos, e isso inclui a fala, que envolve músculos faciais, laringe e estruturas da língua. As pessoas que sofrem dessa condição apresentam dificuldade de falar. Elas não podem controlar a intensidade do volume ou a duração de sua fala. Uma pessoa com disartria pode ser ininteligível ao se comunicar, já que haverá flutuações de volume em sua fala e algumas frases podem ser muito rápidas enquanto outras, muito lentas.
- **A diadococinesia** é uma falta de progressão nos movimentos. Se o cerebelo nos ajuda a prever a posição de nossos segmentos corporais, uma disfunção pode resultar em uma falta de registro de certos segmentos em determinados momentos. Isso pode fazer com que os movimentos comecem muito lentamente ou muito tarde, despojando-os de fluidez e progressividade.
- **Tremores de intenção**: Sem a ajuda do cerebelo, os músculos se ativam sem retenção (que é uma das funções do cerebelo). Essa condição ocorre quando há lesões no pedúnculo cerebelar ou no núcleo denteado, que desempenham um papel importante no feedback com o córtex motor.
- **Nistagmo de origem cerebelar:** bem como os tremores de intenção, nessa condição há uma falta de retenção no movimento dos globos oculares. Essa condição é causada por lesões no lobo flóculo-nodular e é perceptível quando se tenta focar o olhar em um objeto em nosso campo de visão periférico. Ao desfocar, há movimentos rápidos e oscilantes dos olhos.
- **Rebote:** esta condição indica que o cerebelo é incapaz de produzir a ativação dos músculos antagonistas de uma ação específica. Isso ocorre pois, ao sofrer uma lesão cerebelar, o cérebro não pode se comunicar de maneira eficiente com a medula espinhal, a fim de desbloquear o reflexo miotático que para ou interrompe um movimento que ocorre inesperadamente.
- **Hipotonia:** As lesões nos núcleos denteados provocam uma diminuição no tônus muscular periférico próximo ao local em que a disfunção cerebelar está localizada (Guyton, 2006).