

Morfologia funcional do Cerebelo

Prof. Dr. Roberto Sanchez Dornelles de Oliveira¹

Resumo: O cerebelo (do latim <cerebellum>,"pequeno cérebro") faz parte do metencéfalo, está localizado na fossa crânica posterior e desempenha importante função no controle motor. O cerebelo por si só não é capaz de produzir qualquer atividade motora ou reposta emocional, mas, desempenha um importante e significativo papel no controle do tônus muscular, equilíbrio, força muscular e ritmo do movimento. Admite-se que o cerebelo possa estar envolvido também em algumas funções cognitivas tais como atenção e linguagem. Anatomicamente é formado por dois hemisférios cerebelares e por uma parte central denominada de vermis. As principais células do cerebelo são: célula de Purkinje, célula granular, célula de Golgi, célula estrelada e célula em cesto. O cerebelo recebe informações do núcleo olivar pelas fibras trepadeiras e das demais regiões do sistema nervoso, pelas fibras musgosas. Após ter processado todas as informações necessárias para o controle motor, elas deixam o córtex cerebelar através do axônio das células de Purkinje se dirigem para os núcleos profundos do cerebelo: fastigial, globoso, emboliforme e núcleo denteado.

1. Introdução

Segundo vários autores o cerebelo (também referido como pequeno cérebro) representa a "área silenciosa do cérebro" já que sua estimulação experimental não evoca nenhuma sensação ou contração muscular. Sua remoção, por outro lado, não acarreta nenhum déficit nas funções emocional e intelectual, mas, produz importantes e significantes alterações motoras, pois, está intimamente relacionado ao controle do tempo, duração e força de um movimento.

O sistema nervoso central (SNC) ao se desenvolver passou por várias etapas evolutivas desde uma organização mais simples até a mais complexa que encontramos no homem. Isto nos permite dividir o SNC em um sistema nervoso segmentar mais primitivo, um sistema nervoso suprasegmentar de desenvolvimento mais recente. Compreendem formações bem recentes (neoformações) o opto-estriado e o córtex cerebral.

O cerebelo é uma estrutura única, originada do metencéfalo e que pertence ao sistema suprasegmentar, mais propriamente ao tronco cerebral.

O estudo do cerebelo pode ser feito sob diferentes aspectos: anatômico, ontogenético, filogenético e funcional por suas conexões.

DIVISÕES DO CEREBELO	
DIVISÃO ANATÔMICA	LOBO FLÓCULO-NODULAR (vestíbulo-cerebelar) e LOBO CORPO CEREBELAR com: Vermis Hemisférios cerebelares: região anterior região posterior

¹ Professor Titular da Disciplina de Fisiologia e Chefe do Departamento de Ciências Fisiológicas da Escola de Medicina Souza Marques. Mestre em Farmacologia e Terapêutica pela UFRJ. Professor Titular do Departamento de Ciências Fisiológicas da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (Unirio).

DIVISÃO FILOGENÉTICA	ARQUI-CEREBELO: lobo flóculo nodular PALEO-CEREBELO: Lóbulo semilunar anterior Ventre e tonsila do lóbulo biventre NEO-CEREBELO Demais regiões do corpo do cerebelo
DIVISÃO FUNCIONAL	VESTIBULO-CEREBELO (arqui) ESPINO-CEREBELO (paleo) CÓRTICO-PONTO-CEREBELO (neo)
<p>(1) Divisão filogenética: baseada no desenvolvimento do cerebelo desde os seres mais simples e primitivos até os seres mais complexos como no homem;</p> <p>(2) Divisão funcional: baseada nas aferências ao córtex cerebelo e funções deste.</p>	

Do ponto de vista filogenético os lóbulos do cerebelo se desenvolveram em diferentes épocas do processo evolutivo e que pode ser resumido em três fases (Fig. 1)

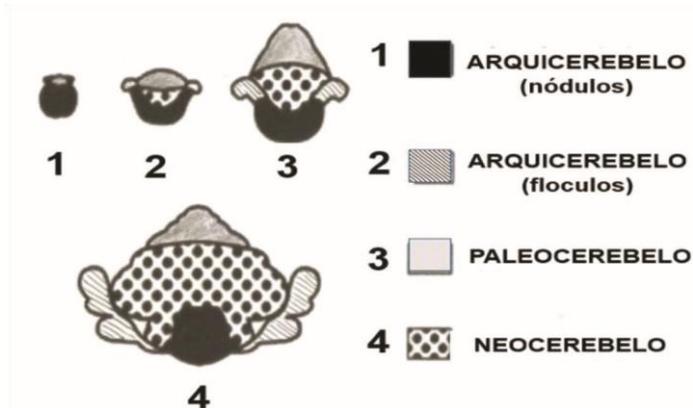


Fig. 1. Áreas filogenéticas do cerebelo.

1. Fases da evolução do Cerebelo

Fase I: O primeiro a se desenvolver foi arqui-cerebelo nos organismos mais primitivos como os ciclóstomos (ex. lampreia) e nos peixes cartilágíneos que desprovidos de membros dependem dele para coordenar movimentos fundamentais para a manutenção de suas posições na água e seus deslocamentos na água (movimentos ondulatórios). No homem sua estreita relação com o sistema vestibular desempenha uma importante função na manutenção do equilíbrio e por isso também é conhecido como vestibulo-cerebelo. O arqui-cerebelo corresponde córtex cerebelar do lobo flóculo-nodular e ao núcleo fastigial.

Fase II: Surge o paleo-cerebelo nos peixes ósseos e nos tetrápodes. Aqui os animais apresentam barbatanas ou membros o que lhes permite elaborar movimentos mais elaborados e controlar o tônus muscular e adotar posturas mais adequadas. O paleo-cerebelo, localizado adiante do sulco primário compreende o lobo semilunar anterior, a línula e o culmen (do vermis), as pirâmides e a úvula (vermis posterior) e ventre do lóbulo biventre e tonsilas cerebelares, um região posterior do corpo cerebelar. Inclui-se no paleo cerebelo os núcleos globoso e emboliforme. Estas áreas recebem informações da medula espinhal, através dos tratos espino-cerebelares, o posterior e o anterior, respectivamente. Por suas ligações com a medula espinhal também é conhecido como espino-cerebelo. Participa nos controles da postura e locomoção.

Fase III: O neo-cerebelo (cerebelo cortical) representa a aquisição mais recente e surge nos mamíferos do qual destacamos parte do vermis e dos dois hemisférios cerebelares localizados entre o sulco primário e o sulco póstero lateral. É incluído como formação neo-cerebelar o

núcleo denteado. O seu desenvolvimento prende-se estreitamente ao desenvolvimento dos centros de associação extrapiramidais (optoestriado) e córtex cerebral. É conhecido como o responsável pelo controle de movimentos delicados, complexos e assimétricos, como aqueles observados nas tarefas realizadas com as mãos no dia a dia (escrever, tocar piano). Também é referido como cérebro-cerebelo.

2. Desenvolvimento Ontogenético

Com o desenvolvimento do embrião observamos o início da formação do sistema nervoso por volta da terceira semana quando sinais químicos liberados fazem com que uma parte do ectoderma comece a diferenciar-se e para dar origem à placa neural, que ao final da terceira semana já terá se desenvolvido o suficiente para formar o tubo neural. Esta fase de formação do tubo neural dá-se o nome de neurulação primária. Entende-se como neurulação secundária a formação da medula espinhal. O desenvolvimento continua e a porção cefálica do tubo neural apresenta-se dilatada o que nos permite reconhecer três formações: as vesículas cerebrais primitivas: pró-encefalo, mesencefalo e rombencéfalo (Fig. 2)

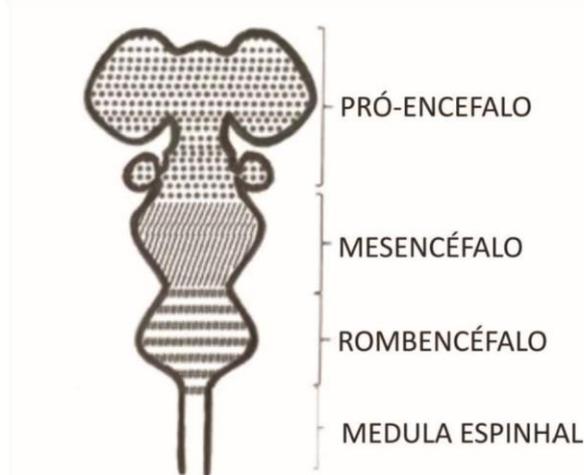


Fig 2. Vesículas cerebrais primitivas.

O rombencéfalo dá origem ao metencéfalo e ao mielencéfalo. O cerebelo tem origem na parte posterior das placas alares do metencéfalo.

Por volta da 12ª semana já é possível reconhecer uma pequena estrutura na linha média, o vermis do cerebelo, e duas partes externas que correspondem aos hemisférios cerebelares. Por volta do final do quarto mês, aparecem fissuras na superfície do cerebelo e desenvolvem-se gradualmente, as folhas características do cerebelo adulto. Os neuroblastos derivados das células da matriz, na zona ventricular, migram para a superfície do cerebelo e acabam por dar origem aos neurônios que formam o córtex cerebelar. Outros neuroblastos permanecem próximos à superfície ventricular e diferenciam-se nos núcleos cerebelares (substância cinzenta agregada na substância branca central, centro medular).

3. Morfologia

Anatomia: o cerebelo de um homem adulto pesa em média 150 g. e comparativamente sua relação com o cérebro é de 1/8 no adulto e de 1/20 numa criança. A maior relação observada no adulto em relação a uma criança recém-nascida sugere que as funções motoras no adulto são mais dependentes do cerebelo do que os movimentos observados nas crianças no início do seu desenvolvimento.

O cerebelo está alojado na fossa crânica posterior tendo à frente o quarto ventrículo que o separa do tronco cerebral (Fig.2).

Acima do cerebelo temos o tentório uma estrutura membranosa (uma lâmina da dura-máter) que separa o cerebelo do lobo occipital do cérebro também conhecido como “tenda do cerebelo”.

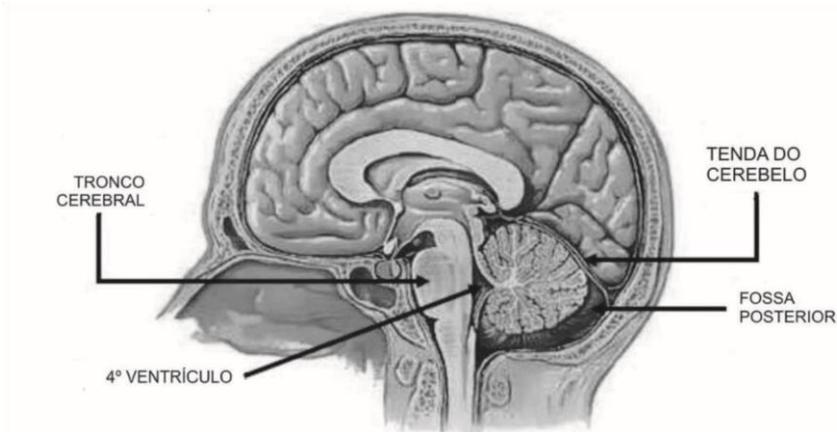


Fig. 3. Localização do cerebelo.

O cerebelo se apresenta com uma forma quase ovoide que lembra uma borboleta, ou um rim, isto é, alongado transversalmente e achatado ântero-posteriormente com constrição na porção mediana, o vermis, que separa os dois hemisférios cerebelares (Fig. 3) na sua porção inferior. O cerebelo distingue-se do cérebro pela sua superfície estriada e por apresentar várias circunvoluções paralelamente distribuídas separadas por sulcos estreitos que se denominam de folhas do cerebelo.

Duas fissuras dividem o cerebelo em três lóbulos (Fig. 4).

Fissura prima que separa o lobo anterior do posterior

Fissura pósterolateral que separa o lobo posterior do lobo flóculo-nodular.

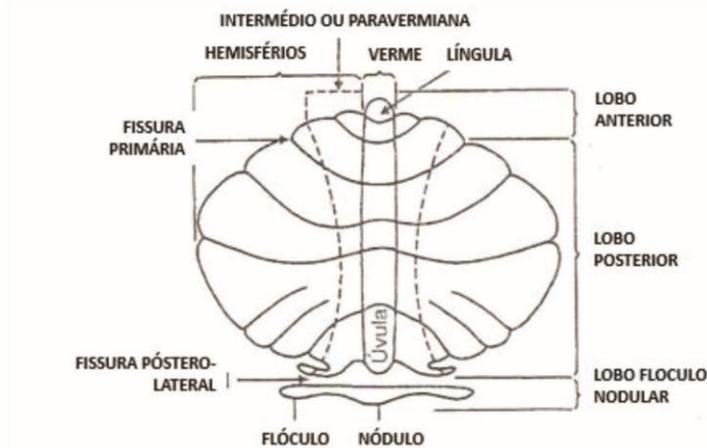


Fig. 4. Divisões anatômicas do cerebelo.

Ligação ao tronco cerebral: o cerebelo se fixa à face posterior do tronco cerebral por três feixes simétricos de fibras nervosas, os pedúnculos cerebelares. O pedúnculo cerebelar inferior conecta o cerebelo ao bulbo, o pedúnculo cerebelar médio à ponte e o pedúnculo cerebelar superior ao mesencéfalo.

Nomenclatura funcional: os lobos do cerebelo também são nomeados de acordo com as conexões que fazem com outras regiões envolvidas com o controle motor. Assim temos:

1. O lobo flóculo-nodular está relacionado, funcionalmente, com o aparelho vestibular podendo ser denominado de sistema vestibulo-cerebelar;

2. O lobo anterior juntamente com partes do lobo posterior que recebe informações da medula espinhal pode ser conhecido como espino-cerebelar;
- 3 O lobo posterior que corresponde aos hemisférios cerebelares e parte do vermis e, que recebe informações do córtex cerebral pode ser conhecido como sistema cérebro-cerebelar.

Estrutura Interna: Ao fazermos um corte sagital do cerebello podemos facilmente distinguir duas regiões bem distintas: substância cinzenta e substância branca.

Na substância cinzenta que ocorre em duas regiões, no córtex cerebelar e nos núcleos profundos do cerebello (fastigial, globoso, emboliforme e denteado). Na região cortical a substância cinzenta forma uma delgada capa superficial (córtex-cerebelar), a qual se mostra muito pregueada formando as folhas do cerebello, encontramos o corpo celular de vários tipos de neurônios que se distribuem por três camadas (Fig. 4):

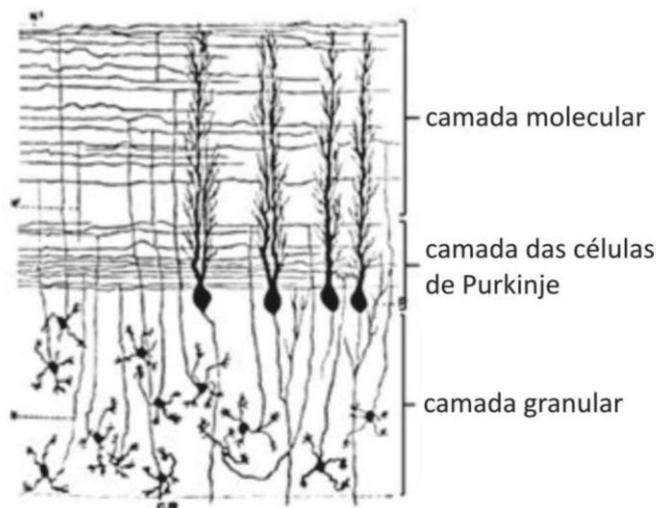


Fig. 5. Diagrama esquemático das três camadas do córtex cerebelar.

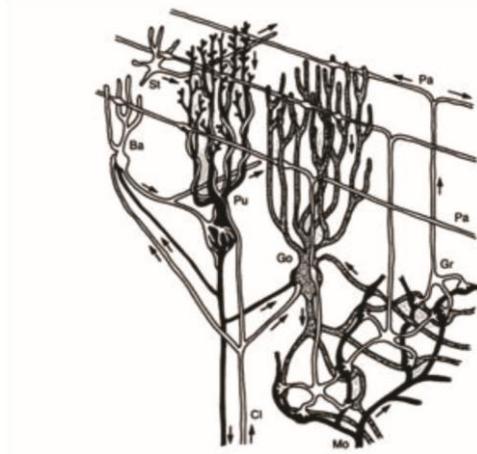
1. **Camada molecular** (a mais externa) contém dois tipos de interneurônios, as células em cesto e as células estreladas bem como inúmeros prolongamentos (axônios) das células granulares que formam as fibras paralelas. As células que se observam na camada molecular são as células em cesto e as células estreladas de localização mais externa. Os axônios das células estreladas estabelecem conexões sinápticas com os dendritos das células de Purkinje enquanto que os axônios das células em cesto podem estabelecer relações sinápticas com o corpo celular de cerca de 10 células de Purkinje localizadas na camada média.

2. **Camada média:** aqui vamos encontrar as células de Purkinje que representam a única via de saída das informações processadas no córtex cerebelar. A célula de Purkinje, é sem sombra de dúvida uma das células que recebe maior número de informações graças aos seus inúmeros dendritos. Se uma célula de Purkinje é innervada por um único axônio de uma fibra trepadeira por outro lado recebe informações de cerca de 200.000 fibras paralelas sem falar das informações oriundas das células estreladas e células em cesto.

As informações que chegam as células de Purkinje são retransmitidas para os neurônios dos núcleos profundos do cerebello e por colaterais para as células de Golgi camada granulosa e células em cesto.

3. **Camada granular:** aqui encontramos dois tipos de células: Golgi tipo II e granulares. Cada célula granular da origem a 4 ou 5 dendritos que terminam nos glomérulos irregularmente distribuídos nos espaços onde não são encontradas células granulares. O axônio de uma célula

granular se projeta para a camada molecular onde se bifurca para formar as fibras paralelas que interagem com os dendritos das células estreladas, dendritos das células em cesto e prolongamentos espinhosos (dendritos) das células de Purkinje. Já as células de Golgi tipo II se estendem por todas as camadas do córtex cerebelar. Seu corpo celular se localiza na camada granular enquanto que seus numerosos dendritos se projetam para a camada molecular. Seu axônio termina nos glomérulos.



Pu = célula de Purkinje	St = célula estrelada
Go = célula de Golgi	Ba = célula em cesto
Gr = célula granular	Cl = fibra trepadeira
Pa = fibra paralela	Mo = fibra musgosa

Fig. 6. Arranjos das fibras no córtex cerebelar.

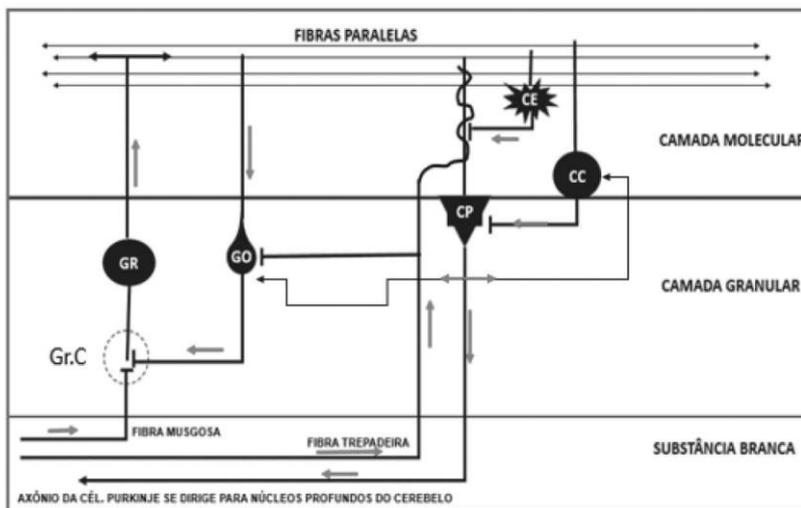


Fig. 7. Conexões dos neurônios do córtex cerebelar.

Nota: O glomérulo é uma estrutura sináptica complexa contida nas ilhotas cerebelares da camada granular. O glomérulo é formado por uma cápsula glial no interior da qual se encontram as rosetas (terminais de axônios) de uma fibra musgosa que interage com terminações dendríticas de inúmeras células granulares, terminações axônicas das células de Golgi. (Fig. 8)

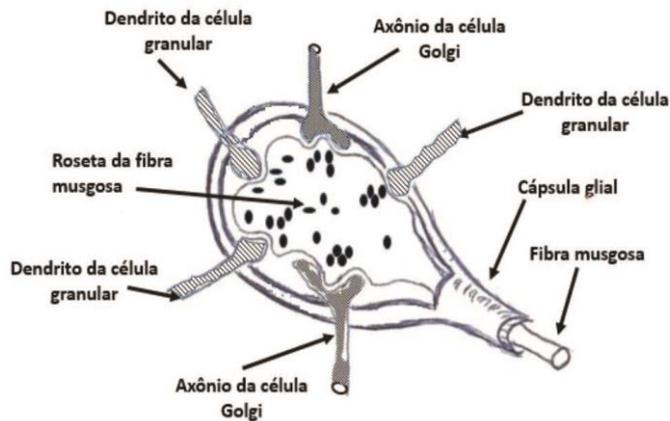


Fig. 8. Reprodução esquemática do glomérulo cerebelar.

Resumo

Tabela 1. Mostra as principais células do córtex cerebelar, suas conexões e neurotransmissores.

CÉLULAS	AFERÊNCIA	EFERÊNCIA	NEURO-TRANSMISSOR	AÇÃO
ESTRELADA	FIBRAS PARALELAS	PARA OS DENDRITOS DAS CÉLS. DE PURKINJE	TAURINA	INIBIDORA
CESTO	FIBRAS PARALELAS	PARA O CORPO DA CÉL. DE PURKINJE	GABA	INIBIDORA
PURKINJE	FIBRAS PARALELAS FIBRAS TREPADERAS CÉLS. ESTRELADAS CÉLS. EM CESTO	PARA OS NEURÔNIOS DOS NÚCLEOS PROFUNDOS DO CEREBELO	GABA	INIBIDORA
GOLGI	FIBRAS PARALELAS FIBRAS TREPADERAS COLATERAIS DAS CÉLS. PURKINJE	PARA OS DENDRITOS DAS CÉLS. GRANULARES	GABA	INIBIDORA
GRANULAR	FIBRAS MUSGOSAS CÉLS. DE GOLGI	FORMA AS FIBRAS PARALELAS QUE FAZEM SINAPSE COM DENDRITOS DAS CÉLULAS DE PURKINJE, ESTRELADA, CESTO E GOLGI	GLUTAMATO	EXCITATÓRIA

Na substância branca, que forma a porção interna do cerebelo se dispõem os núcleos do cerebelo:

1. Do núcleo denteado partem as informações para as áreas motoras e pré-motora do córtex cerebral que estão envolvidas com o planejamento motor.
2. Os núcleos, globoso e emboliforme originam o sistema descendente lateral que está envolvido no controle da execução dos movimentos.
3. O núcleo fastigial forma o sistema descendente medial também está envolvido no controle da execução dos movimentos, principalmente referentes à equilíbrio e postura.

4. Vias Aferentes do Cerebelo

A organização celular do cerebelo a princípio é relativamente simples e estereotipada. Resume-se em apenas duas entradas cujas fibras penetram no cerebelo através dos pedúnculos cerebelares. Ao chegarem ao córtex cerebelar perdem a bainha de mielina onde passam a ser conhecidas como fibras trepadeiras e fibras musgosas.

Tabela 2. Resume as principais vias aferentes do cerebelo

NEO-CEREBELO

Circuito córticopontocerebelar	Suas fibras se originam de amplas áreas do córtex cerebral (frontal, parietal, temporal e occipital) e descem passando pela “corona radiata”, cápsula interna, para fazer sinapse com neurônios dos núcleos pontíneos ipsilateral. As fibras que partem dos núcleos pontíneos cruzam para o lado oposto, formando as fibras transversais da ponte para logo ingressar no cerebelo pelos pedúnculos cerebelares médios e atingem o córtex cerebelar (lobo posterior) como as fibras musgosas;
Circuito córticoolivocerebelar	Origina-se das mesmas áreas corticais do anterior, passam pelas mesmas regiões e se dirigem para o núcleo olivar inferior do bulbo. Suas fibras penetram no cerebelo pelos pedúnculos cerebelares inferiores e terminam no córtex cerebelar (lobo anterior: zona paravermiana) como fibras trepadeiras;
Circuito córtico-reticulocerebelar	Suas fibras se originam em especial da área somato-sensorial e motora. Descem até a formação reticular e penetram no cerebelo pelos pedúnculos cerebelares, inferior e medial. Terminam no córtex cerebelar como fibras musgosas;
Circuito vestibulocerebelar	Representa as fibras que partem do núcleo vestibular que por sua vez recebe informações do aparelho vestibular. Estas fibras (tipo musgosa) se dirigem para o cerebelo e terminam no lobo flóculo-nodular. Exercem um importante papel na manutenção do equilíbrio;
PALEO-CEREBELO	
<u>Trato espino-cerebelar anterior</u>	Suas fibras se originam do núcleo torácico da medula espinhal e transmitem informações proprioceptivas (fusos musculares, tendões, articulações dos membros superiores e inferiores) e exteroceptivas. Algumas de suas fibras cruzam a medula espinhal e outras sobem pelo mesmo lado. Suas fibras penetram no cerebelo pelos pedúnculos cerebelares superiores. Terminam no córtex cerebelar como fibras musgosas;
<u>Trato espino-cerebelar posterior</u>	Mesma origem do anterior, mas, ao contrário deste as suas fibras não cruzam o plano mediano. Penetram no cerebelo como parte do pedúnculo cerebelar inferior. Terminam como fibras musgosas no córtex cerebelar. Transmitem informações proprioceptivas do tronco e membros inferiores;
<u>Trato cuneocerebelar</u>	Suas fibras têm origem no núcleo cuneiforme acessório do bulbo raquidiano. Suas fibras penetram no cerebelo como parte do pedúnculo cerebelar inferior. Terminam no córtex cerebelar como fibras musgosas. Transmitem informações proprioceptivas dos músculos do pescoço;
ARQUI-CEREBELO	
<u>Trato vestibulocerebelar</u>	Suas fibras se originam dos núcleos vestibulares, ou diretamente de neurônios do gânglio vestibular da orelha interna. Suas fibras entram no cerebelo acompanhando os pedúnculos cerebelares inferiores e terminam no lobo flóculo-nodular como fibras musgosas. Desempenham um importante papel na manutenção do equilíbrio.

As **fibras trepadeiras** têm origem na oliva inferior e vão interagir, diretamente, com os dendritos das células de Purkinje e com neurônios dos núcleos profundos do cerebelo. Uma fibra trepadeira se relaciona em média com 10 células granulares, mas, a relação fibra trepadeira/ célula de Purkinje é de 1:1 o que torna este circuito mais seletivo e menos difuso.

A segunda entrada é representada pelas **fibras musgosas** que têm origem em várias regiões do sistema nervoso central e vão interagir indiretamente com as células de Purkinje após fazerem sinapses com os dendritos das células granulares no glomérulos cerebelares. As fibras musgosas que transmitem informações tanto da periferia quanto centralmente se bifurcam inúmeras vezes na substância branca antes de penetrar no glomérulo onde liberam glutamato, um neurotransmissor excitatório para as células granulares e interage com terminais axônicos das células de Golgi que liberam Gaba e que exerce uma ação inibitória. Uma fibra musgosa interage, em

média, com cerca de 30 células granulares e a relação fibra musgosa/célula granular é de 5:1 o que torna o circuito mais difuso.

Como já se mencionou anteriormente o cerebelo se divide em três lóbulos e cada um deles recebe aferências específicas:

1. Neo-cerebelo: recebe aferências provenientes de várias regiões do córtex, frontal, parietal, temporal e occipital, que regulam a atividade do cerebelo através de três circuitos: córtico-pontocerebelar, córtico-reticulo-cerebelar e córtico-olivo-cerebelar;
2. Paleo-cerebelo: recebe informações proprioceptivas através trato espino-cerebelar anterior, espino-cerebelar posterior e cúneo-cerebelar;
3. Arqu-cerebelo: recebe informações provenientes dos núcleos vestibulares, ou do diretamente dos gânglios vestibulares da orelha interna.

5. Vias Eferentes do Cerebelo

Todas as informações processadas no cerebelo deixam o córtex cerebelar através das células de Purkinje e se dirigem para os núcleos do cerebelo (fastigial, globoso, emboliforme e denteado) e daí para o tronco cerebral e diencefalo através dos pedúnculos cerebelares superiores. Os principais circuitos cerebelares e suas eferências são:

1. Circuito dentato-talâmico: Este circuito se origina no núcleo denteado e deixa cerebelo pelo pedúnculo cerebelar superior. Suas fibras decussam e vão fazer sinapse, principalmente no núcleo ventral do tálamo. Daí as informações são direcionadas para o córtex motor primário passando pela cápsula interna e coroa radiada (Fig. 9).

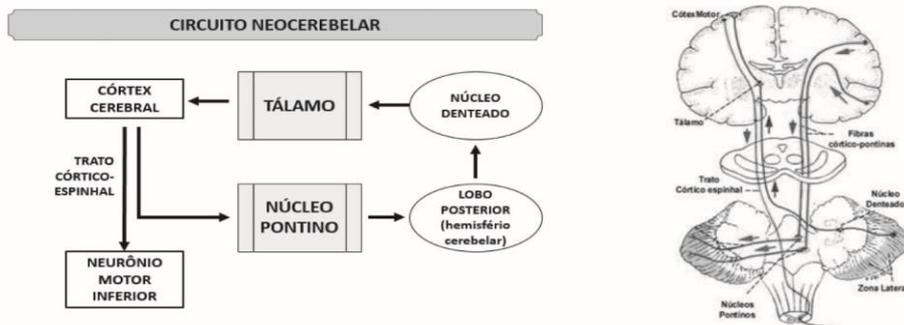


Fig. 9. Circuito córtico-cerebelar (vias aferentes e eferentes)

Tal organização permite que o neo-cerebelo controle o córtex motor do lado oposto. Como o córtex motor primário controla os movimentos voluntários do lado oposto do corpo pode-se concluir que o neo-cerebelo controla a atividade dos neurônios motores periféricos do mesmo lado do corpo.

O núcleo denteado é ativado pouco tempo antes que o córtex motor primário, principalmente para estímulos externamente comandados (envolvendo, por exemplo: estímulos visuais e auditivos), mas não por estímulos somestésicos táteis. Com isso contribui para o iniciar movimentos. Também participa na coordenação de atividades na qual estão envolvidas várias articulações simultaneamente (ex.: segurar um objeto com o polegar e o indicador) durante a realização de movimentos complexos. Por outro lado, é pouco ativado por movimentos simples ou que envolvam apenas uma articulação. Não codifica parâmetros de movimento, como direção, velocidade, duração e força, mas, coordena os movimentos de aproximação precisos e participa na correção do movimento em execução. Sua lesão caracteriza-se por um escasso controle da

distância do movimento (dismetria) retardo no início dos movimentos voluntários, movimentos de aproximação deficientes (ataxia de aproximação). Disto pode-se concluir que o neo-cerebelo e o córtex motor com ele relacionado, através do núcleo denteado, intervêm no início dos movimentos externamente comandados, no controle da distância (lesão causa dismetria), no controle de aproximação (lesão causa ataxia de aproximação e na coordenação da atividade das diferentes articulações durante a realização de movimentos complexos).

O neo-cerebelo é de suma importância para o aprendizado motor.

Principais alterações resultantes de lesões da via dentato-talâmica: ataxia (incoordenação motora nas extremidades e da fala; dismetria, erros na distância; decomposição motora (tremor intencional); disdiadocinesia; nistagmo patológico.

2. Eferências do paleo-cerebelo.

Neste circuito, as fibras que deixam o paleo-cerebelo são direcionadas para o núcleo rubro formando 3 vias: dentatorubra, globoso-rubra e emboliforme-rubra (atenção: o núcleo emboliforme + núcleo globo, por vezes são ditos núcleo interpósito) fig.10.

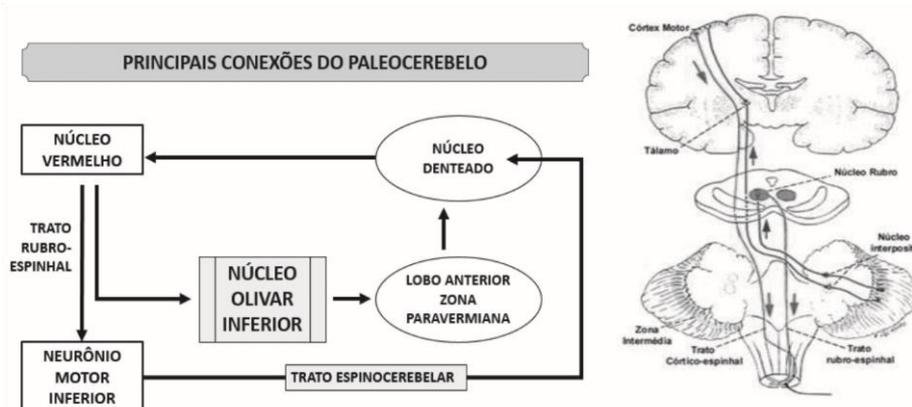


Fig. 10. Principais conexões do paleo-cerebelo.

O núcleo interpósito é ativado quando são realizados movimentos para ajustes necessários para retomar a posição de um membro quando ela se encontra alterada. Também é ativado com movimentos alternantes que envolvem a contração de músculos agonistas e antagonistas ou quando ocorre a contração simultânea de um músculo agonista e de um antagonista para estabilizar uma articulação.

O paleo-cerebelo, junto com o arqui-cerebelo, participa no controle do tônus muscular.

A lesão do núcleo interpósito produz um tremor de grande amplitude, com uma frequência de 3-5 Hz durante a realização de movimentos voluntários. Também observamos incoordenação motora, marcha cambaleante e erros de execução motora.

3. Eferências do arqui-cerebelo

Os axônios dos neurônios que deixam o núcleo fastigial se dirigem (passando pelo pedúnculo cerebelar inferior) para os núcleos vestibulares. Daí as informações se dirigem para os neurônios motores da medula espinhal (trato vestibulo-espinhal) ou para formação reticular (trato reticulo-espinhal). (Fig. 11)

Sua atividade aumenta quando andamos ou executamos ajustes posturais para manter a postura ereta ou enquanto estamos sentados.

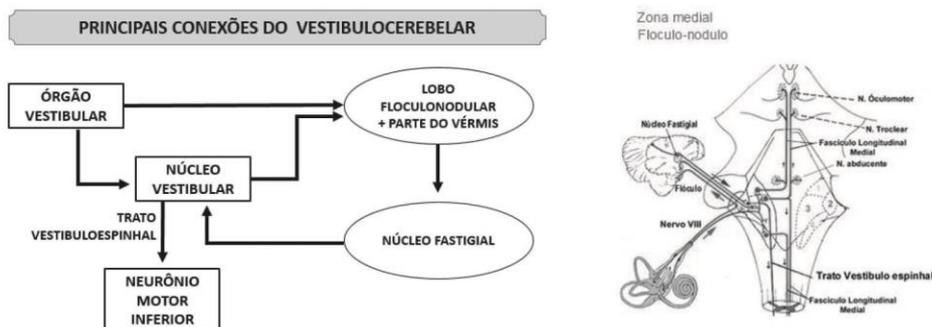


Fig. 11. Principais conexões arqui-cerebelares.

6. Principais Funções do Cerebelo

O cerebelo atua como um importante centro de integração objetivando o controle da atividade motora. Graças a sua participação nos complicados mecanismos de feedback e de regulação, o cerebelo é capaz de participar no controle do equilíbrio, tônus muscular e principalmente no controle dos movimentos suaves, precisos, harmoniosos bem como no aprendizado motor. O mecanismo de controle exercido pelo cerebelo é, grosso modo, diferenciado de acordo com o local de integração.

Arqui-cerebelo: que está sendo continuamente informado da posição da cabeça a partir de informações geradas no aparelho vestibular está envolvido no controle do equilíbrio. A chegada precoce das informações oriundas dos receptores dos canais semicirculares permite ao cerebelo assegurar em qualquer momento, a manutenção do reflexo postural qualquer que seja a posição do corpo. Este circuito controla basicamente a musculatura axial e proximal e é essencial para efetuar ajustes automáticos do equilíbrio e postura durante os movimentos e marcha.

A lesão do lobo flóculo-nodular ou da via vestibulo-cerebelar promove importantes alterações no equilíbrio fazendo com que o paciente se torne indeciso quando fica de pé (astasia) ou durante a marcha (abasia). O andar de um paciente com lesão envolvendo o lobo flóculo-nodular faz com que a marcha se torne sinuosa (lembra a de um indivíduo alcoolizado) e para melhorar o equilíbrio afasta as pernas, aumento a base de sustentação (ataxia axial ou do tronco). A lesão unilateral do núcleo fastigial gera tendência para cair para o lado da lesão e o paciente mostra dificuldade para manter a postura durante a marcha ou quando se encontra de pé ou sentado. Se a lesão for bilateral o paciente tende a cair e, quando o faz, não consegue erguer-se sem ajuda. A marcha é praticamente impossível.

Assim podemos concluir que o núcleo fastigial é essencial para efetuar os ajustes automáticos da postura durante os movimentos e marcha. Ao contrário do que ocorre nas lesões nos cordões posteriores, a ataxia não se agrava se o paciente fechar os olhos.

As alterações descritas não estão associadas a diminuição das informações proprioceptivas registradas pela consciência, mas, decorrentes da perda da coordenação dos movimentos executados pelos diversos grupos musculares o que caracteriza uma assinergia.

O circuito é mantido com a participação do aparelho vestibular, núcleo vestibular, núcleo fastigial como pode ser visto na figura 11.

Paleo-cerebelo: está envolvido na regulação dos movimentos no qual estão envolvidas as informações que passam pelo núcleo rubro que regula os neurônios motores do tronco cerebral e medula espinhal.

Atenção: as informações oriundas do córtex cerebral que chegam ao cerebelo são ipsilaterais, mas, contralaterais se relacionado ao núcleo rubro. Impulsos ascendentes que derivam dos núcleos

cerebelares também emitem projeções ao núcleo centro-mediano do tálamo e daí para os núcleos estriados, afetando assim o sistema medial (extrapiramidal).

A ação combinada do paleo-cerebelo com o arqui-cerebelo assegura o controle sobre o tônus muscular bem como na coordenação suave e sinérgica de músculos agonistas e antagonistas responsáveis para manter o indivíduo de pé e marcha normal.

Lesões envolvendo o paleo-cerebelo não têm nenhum efeito óbvio em seres humanos. Por isso, torna-se muito difícil atribuir determinadas deficiências clínicas a uma lesão limitada ao paleo-cerebelo já que muitas atividades podem ser compensadas pelo neo-cerebelo.

Neo-cerebelo: este lobo recebe informações, de modo indireto de várias áreas do córtex cerebral, sobretudo das áreas 4 e 6 de Brodmann, através da via córtico- ponto-cerebelar. Tais informações chegam ao cerebelo antes mesmo que o movimento seja executado. O cerebelo pode então corrigi-los. Através de impulsos inibidores pode modificar ou corrigir os impulsos motores que trafegam pelo sistema medial (extrapiramidal) e lateral (piramidal). Graças a participação integrada do neo-cerebelo e das informações, via trato espino-cerebelar os movimentos tendem a ser executados de modo suave, precisos e exatos.

Lesões isoladas do neo-cerebelo em geral causam pequenos déficits motores a não ser que uma grande área do neo-cerebelo seja afetada. Porém, se as lesões afetam as vias eferentes do cerebelo associadas ao neo-cerebelo a capacidade de executar movimentos suaves e coordenados é perdida.

Os principais sinais de uma disfunção envolvendo o neo-cerebelo são: decomposição dos movimentos, dismetria, tremor intencional, adiadococinesia.

7. Principais Sinais Da Disfunção Cerebelar

1. **ASSINERGIA:** incapacidade para execução de movimentos complexos (harmonioso e exato). Pode-se observar uma decomposição do movimento.

Tal alteração está associada a perda na coordenação de grupos musculares necessários para realização do movimento desejado.

O paciente normal ao inclinar a cabeça e o tronco para trás flexiona as pernas para não cair. No paciente com lesão cerebelar esses movimentos sinérgicos não acontecem. Isso se manifesta com desequilíbrio e incapacidade para manter-se de pé.

2. **HIPOTONIA:** representa uma diminuição ou perda do tônus muscular.

Os músculos encontram-se flácidos e brandos durante a palpação e não oferecem resistência ao serem movimentados passivamente. Os reflexos ósteo-tendíneos encontram-se diminuídos.

3. **DECOMPOSIÇÃO DO MOVIMENTO:** O movimento ocorre em etapas distintas e não de modo suave e contínuo. Observase certo tremor intencional.

4. **ATAXIA:** perda da coordenação motora nos movimentos voluntários.

NOS MEMBROS INFERIORES: a falta de coordenação determina uma marcha oscilante como a observada no andar de um bêbado. O paciente não consegue andar em linha reta. Se existir uma lesão unilateral, o desvio acontece para o lado da lesão.

NOS MEMBROS SUPERIORES: a alteração consiste em movimentos oscilatórios do tronco, ou títubeio que melhor se observa com o paciente em pé ou quando caminha.

5. **DISMETRIA:** incapacidade de avaliar corretamente a distância de modo que o movimento cessa precocemente ou então ultrapassa o alvo.

O problema se manifesta porque o paciente contrai o músculo antagonista antes ou depois do ponto alvo desejado;

Os pacientes cerebelares tentam corrigir esse erro de aproximação realizando múltiplas e pequenas contrações dos músculos antagonistas e, algumas vezes dos agonistas produzindo assim oscilações do movimento conhecida como tremor intencional; Isso acontece com lesões isoladas do núcleo denteado ou combinadas com as do núcleo interpósito bem como do neo-cerebelo.

6. **ADIADOCOCINESIA:** inabilidade para realizar movimentos alternantes, rítmicos e rápidos.

Sua causa decorre de uma coordenação temporal defeituosa da atividade dos músculos agonistas e antagonistas produzidas por lesão isolada do núcleo interpósito ou associado com lesão do núcleo denteado.

7. **DISARTRIA:** dificuldade na produção dos fonemas (fala escandida = lenta, hesitante, com pausas inadequadas).

8. **NISTAGMO:** são oscilações repetidas e involuntárias de um ou de ambos os olhos em algumas ou em todas as posições do olhar.

Fisiologicamente o nistagmo é um reflexo que visa fixar o olhar durante a rotação da cabeça. O nistagmo apresenta duas fases:

lenta: é dependente do sistema vestibular e visa compensar a rotação da cabeça;

rápida: se origina no tronco cerebral e visa restringir o movimento dos olhos enquanto dure o movimento rotacional (caso contrário o olho iria atingir a borda da órbita).

9. **INCAPACIDADE PARA DISCRIMINAÇÃO DO PESO:** o paciente sempre terá a impressão de menor peso quando segura um objeto na mão correspondente ao lado da lesão do cerebelo.

Referências bibliográficas

- Bullock, J.; Boyle, J., & Wang, M.B. Fisiologia. 3a. ed. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan, 1995.
- Eccles, J. C. & Szentagothai, M.I. The Cerebellum as a Neuronal Machine. Berlin, Springer-Verlag. 1967.
- Guyton, A.C. & Hall, J.E. Tratado de Fisiologia Médica. 12.ed. Rio de Janeiro, Elsevier. 2011.
- Houssay, A. B. & Cingolani, H. E., Fisiologia Humana, 7a. ed., Porto Alegre, ArtMed. 2003.
- Johnson, L.R. Fundamentos de Fisiologia Médica, 2ª. ed., Rio de Janeiro, Guanabara Koogan. 2000.
- Llinás, R.R. The cortex of the cerebellum. *Scientific American*. 232(1):56-71. 1975.
- Loewenstein, Y. The Olivo-Cerebellar System: Dynamical Processes and Computational Principles. Thesis submitted for the degree of "Doctor of Philosophy" submitted to the senate of the Hebrew University of Jerusalem. October 2003.
- [In \(http://elsc.huji.ac.il/sites/default/files/yonatanloewenstein.pdf\)](http://elsc.huji.ac.il/sites/default/files/yonatanloewenstein.pdf).
- Marr, D. A theory of cerebellar cortex. *Journal of Psychology*. 202:437-470, 1969.
- Palay, S. L. & Chan-Palay, V. Cerebellar Cortex: Cytology and Organization. New York: Springer-Verlag. 1974.
- Pazo, J.H., Medina, J.H., Fisiologia Sistema Nervioso, 2ª. Ed., 1987.
- Brahim, R. <http://www.wgate.com.br/conteudo/medicinaesaude/fisioterapia/cerebelo.htm>.