

SISTEMA ESQUELÉTICO PÓS-CRANIAL

Meta

Neste capítulo serão apresentadas as principais características e adaptações do sistema esquelético pós-cranial dos vertebrados.

Objetivos

Ao final desta aula, o aluno deverá:
reconhecer a organização do esqueleto pós-cranial dos diferentes vertebrados, identificando as adaptações que eles desenvolveram para ocupar os ambientes aquáticos e terrestres.

Pré-requisitos

É importante que o aluno tenha entendido os termos utilizados em anatomia que foram revisados na primeira aula, bem como as principais modificações ocorridas na região cranial do sistema esquelético.



(Fonte: www.ucmp.berkeley.edu)

INTRODUÇÃO

Na aula anterior o enfoque maior foi dado à evolução da região craniana e dos possíveis fatores que contribuíram para as especializações em cada grupo. Porém, o sistema esquelético não se resume ao crânio, existindo ainda um conjunto de ossos que forma todo o restante do corpo. A esse conjunto são atribuídas funções como proteção às vísceras, ventilação dos pulmões em amniotas, reservatório de minerais, aumento da rigidez para um corpo mole e fornecimento de pontos para inserção da musculatura.

Modos mais especializados de locomoção surgiram a partir da formação das nadadeiras pares nos primeiros Gnathostomata e da conquista do ambiente terrestre pelos anfíbios, contribuindo para modificações importantes do esqueleto pós-cranial dos vertebrados.

Nesta aula serão abordadas as variações verificadas no esqueleto pós-cranial de gnathostomados aquáticos e terrestres, bem como as possíveis causas. Com relação à região axial, os componentes trabalhados serão as vértebras, costelas e o esterno. Já na região apendicular, as cinturas peitoral e pélvica e estrutura esquelética dos membros pareados (patas, asas e nadadeiras).

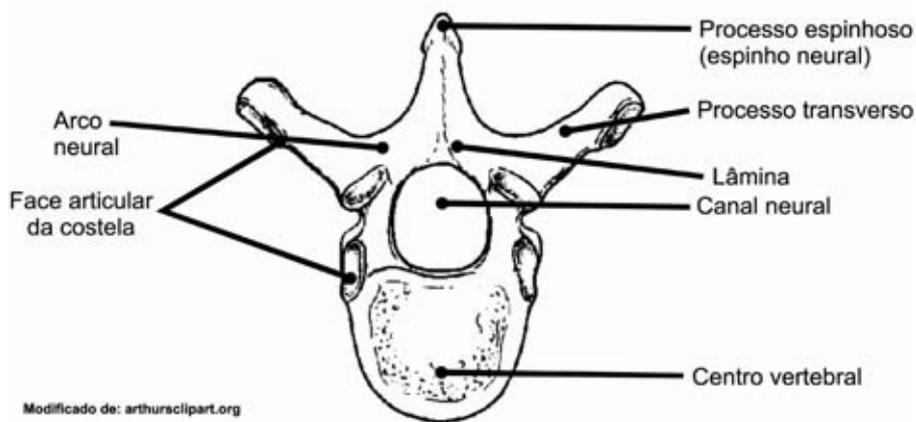


Os gnathostomados (do grego gnathos, mandíbula, e stomatos, boca) constituem uma superclasse de animais vertebrados, que reúne os peixes e os tetrápodes que possuem maxila. (Fonte: <http://pt.wikipedia.org>)

ESTRUTURA E DESENVOLVIMENTO DAS VÉRTEBRAS

De todas as estruturas que compõem o sistema esquelético pós-cranial, a coluna vertebral é a mais antiga, exceto pela notocorda. Esta estrutura é composta por elementos seriais conhecidos como vértebras, que se articulam entre si e servem como pontos de inserção para a musculatura.

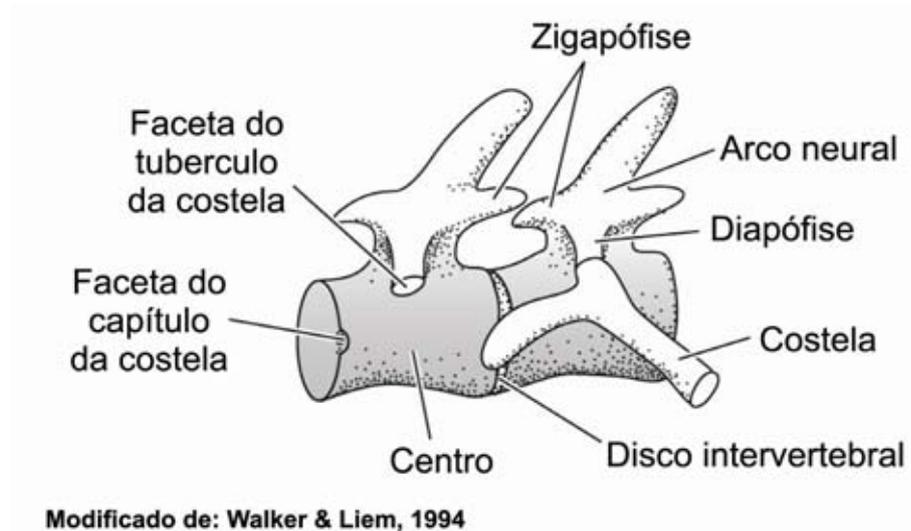
Para facilitar o entendimento da evolução das vértebras, vamos primeiro realizar uma caracterização desta estrutura. Uma vértebra típica é formada por um centro vertebral, que circunda, restringe ou substitui a notocorda, e um arco neural, que delimita o canal neural que abriga a medula espinhal. Projetando-se do arco neural pode estar presente um espinho neural. Partindo do centro vertebral pode ocorrer um arco hemático (ou hemal) circundando alguns vasos sanguíneos, e na região da cauda ele pode estender-se sob a forma de um espinho hemático.



Estrutura de uma vértebra.

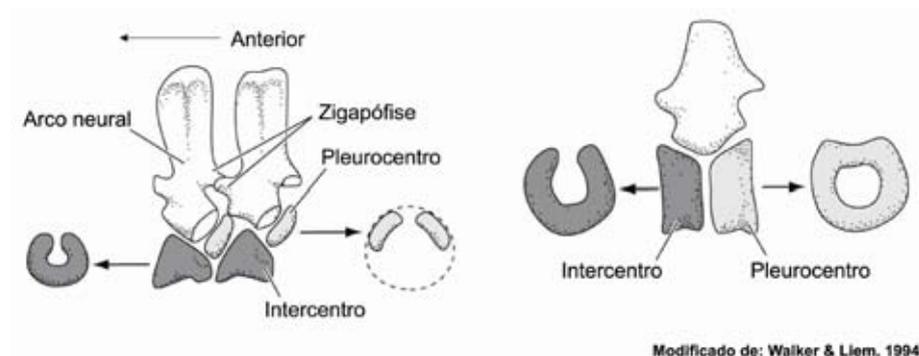
Vários tipos de projeções (processos ou apófises) das vértebras podem estar presentes, dependendo da espécie, sendo denominados:

- Diapófise – projeção lateral das vértebras que dão sustentação ao tubérculo da costela;
- Zigapófise – processo originado do arco neural que serve de ponto de articulação entre vértebras adjacentes dos tetrápodes. Quando a projeção se dá na região cranial do arco neural se diz pré-zigapófise e na região caudal, pós-zigapófise;
- Processo transverso – qualquer processo lateral de uma vértebra



Processos ou apófises vertebrais.

O centro vertebral pode ser formado por um ou dois elementos. Quando presentes dois elementos, o mais cranial é conhecido como intercentro e o mais caudal (que pode ser par) de pleurocentro. Quando um único elemento estiver presente, este pode ser um intercentro (alguns anfíbios extintos) ou pleurocentro (amniotas). Estes termos são mais apropriados para os Tetrapoda.



Elementos que formam os centros vertebrais: pleurocentro e intercentro.

FORMAS DOS CENTROS VERTEBRAIS

A morfologia dos centros vertebrais tem importância evolutiva, funcional e sistemática, sendo os mesmos classificados em:

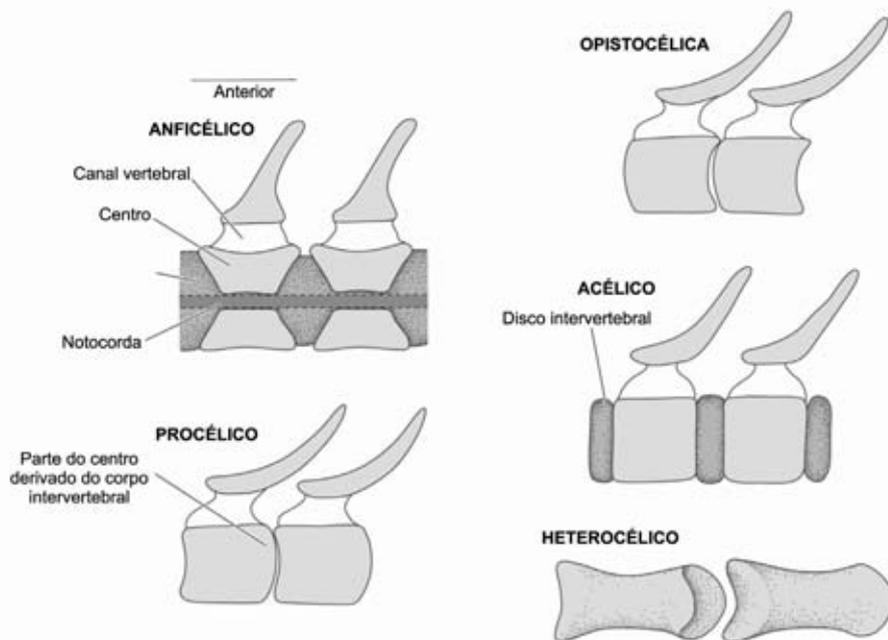
- Anficélico – quando as duas faces do corpo vertebral são côncavas (limita os movimentos em todas as direções);
- Procélico – centro vertebral côncavo na região anterior e convexo na

posterior (permite movimentos em qualquer direção, exceto os limitados pelas zigapófises);

- Opistocélico - centro vertebral côncavo na região posterior e convexo na anterior (permite movimentos em qualquer direção, exceto os limitados pelas zigapófises);

- Acélico – corpos vertebrais com extremidades planas (resistentes à compressão e limitam movimentos, salvo os casos onde são encontrados discos intervertebrais espessos e fibrosos);

- Heterocélico – corpos vertebrais com extremidades em forma de sela (permite flexão lateral e vertical, mas impede a rotação ao redor do eixo da coluna vertebral).



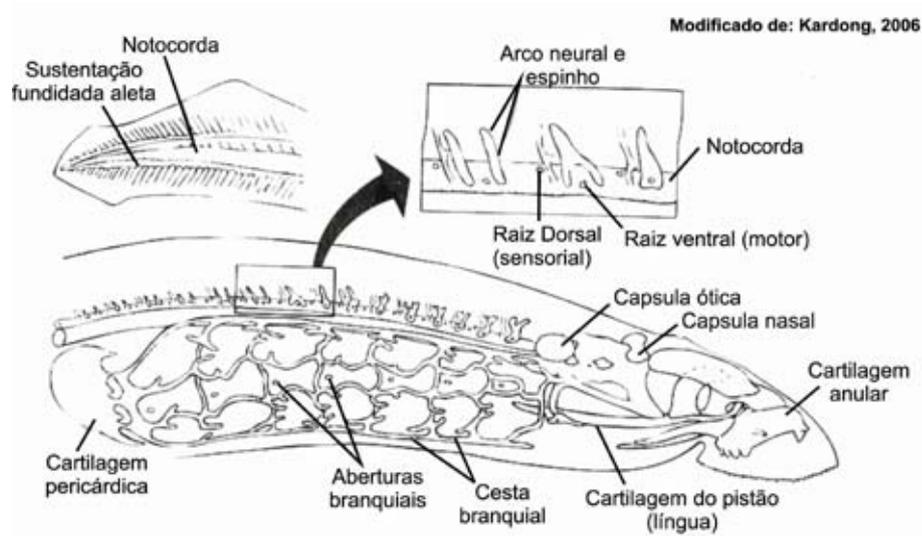
Modificado de: Walker & Liem, 1994

Tipos de vértebras.

EVOLUÇÃO DA COLUNA VERTEBRAL

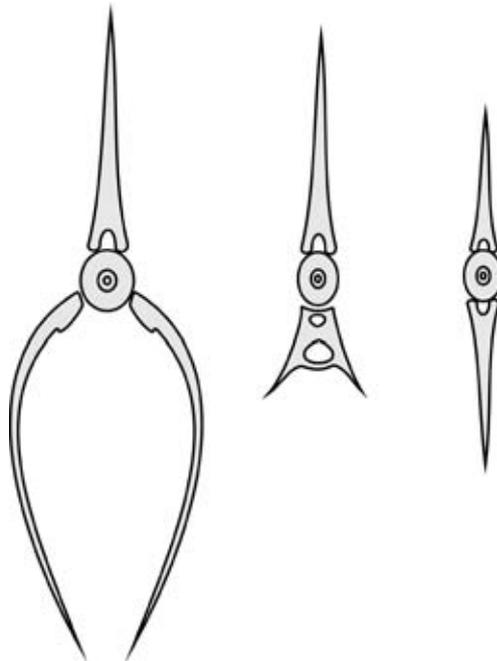
A notocorda persiste nos adultos de agnatos, alguns grupos de peixes extintos, quimeras, sarcopterígeos e actinopterígeos mais primitivos. Já os arcos neurais estão presentes em todos os vertebrados (exceção nas feiti-ceiras), e muitos possuem arcos hemáticos pelo menos na região da cauda.

Cordados I



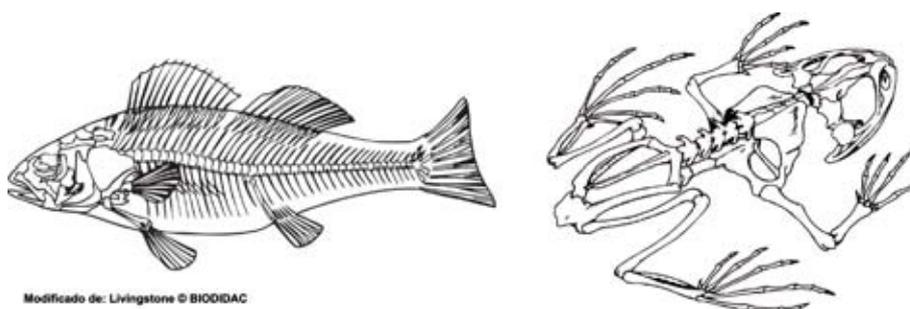
Esqueleto de um peixe Agnatha evidenciando a notocorda persistente.

Em peixes mais derivados (Selachii e Teleostei), a notocorda foi interrompida por centros vertebrais, e arcos e processos foram formados, conferindo maior rigidez para fixação muscular. Nestes peixes, centros vertebrais firmes articulam-se uns com os outros, existindo estruturas de tecido entre as vértebras anficélicas adjacentes, derivadas da notocorda. Em peixes ósseos, as vértebras normalmente possuem um elemento central, um arco neural com um espinho e, na cauda, um arco hemático com espinho.



Vértebras de peixes.

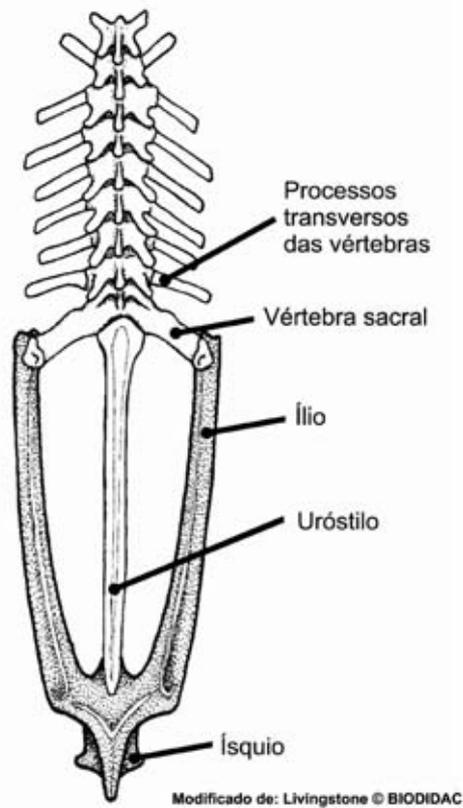
A transição água-terra dos primeiros tetrápodes (anfíbios) foi acompanhada de grandes mudanças na coluna vertebral. Essa estrutura antes tinha que resistir somente às pressões impostas pelos fortes músculos axiais. No ambiente aquático, a água oferece certa sustentação aos organismos, diferente do ambiente terrestre, no qual a ação da gravidade impõe um novo tipo de pressão. Inicialmente os apêndices pares não se relacionavam com a coluna vertebral, mas gradualmente foram se tornando mais fortes e sendo reposicionados, de forma a transmitir seu suporte ao eixo do corpo. Nesta fase de transição houve a redução da musculatura axial e ampliação da musculatura apendicular. A coluna vertebral, antes quase uniformemente flexível ao longo do seu eixo, passou a ter que resistir a flexões em determinados lugares e fornecer uma nova mobilidade em outros. Para isso centros vertebrais mais firmes foram exigidos, capazes de facilitar ou restringir movimentos em determinadas partes de processos que poderiam aumentar a força de alavancagem dos músculos, e promover uma relação mais íntima com as cinturas.



Esqueletos de um peixe e de um tetrápode.

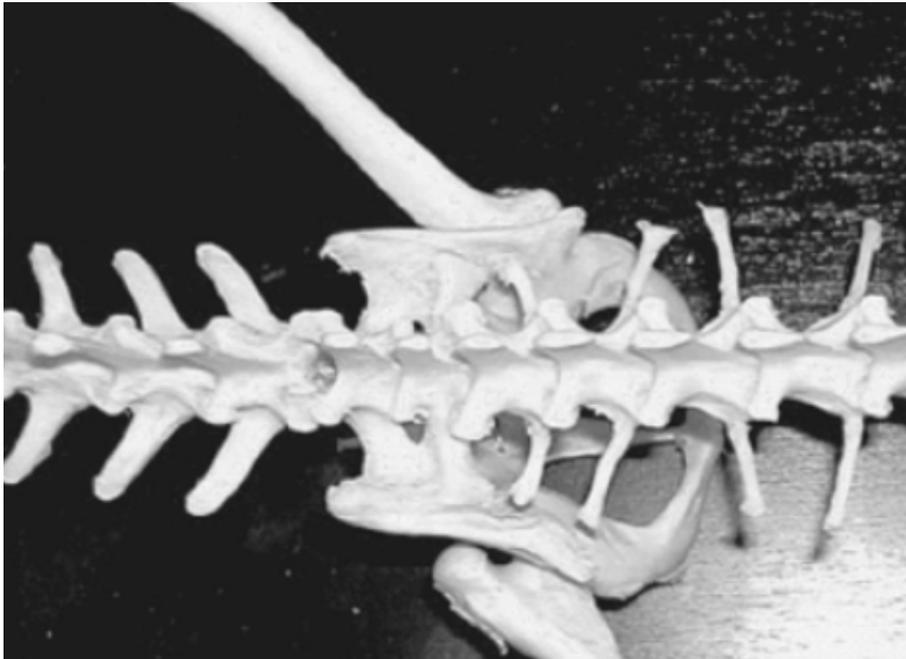
Nos anfíbios podem ser encontrados centros vertebrais dos tipos anficélicos, procélicos ou opistocélicos. Projetando-se destes centros, temos zigapófises que reforçam a coluna vertebral e controlam sua flexibilidade. As modificações da primeira e, às vezes, da segunda vértebra cervical podem ocorrer de forma a aumentar a mobilidade da cabeça. Com exceção dos anuros, as vértebras do tronco dos anfíbios apresentam costelas. Uma única vértebra sacral aumentada está presente. Essa estrutura articula-se por meio de costelas fundidas com a cintura pelvina. As vértebras caudais livres não estão presentes em anuros, em seu lugar temos o uróstilo, estrutura em forma de bastonete derivada de duas ou três vértebras caudais ancestrais.

Cordados I



Coluna vertebral, uróstilo e cintura pélvica de um anfíbio anuro.

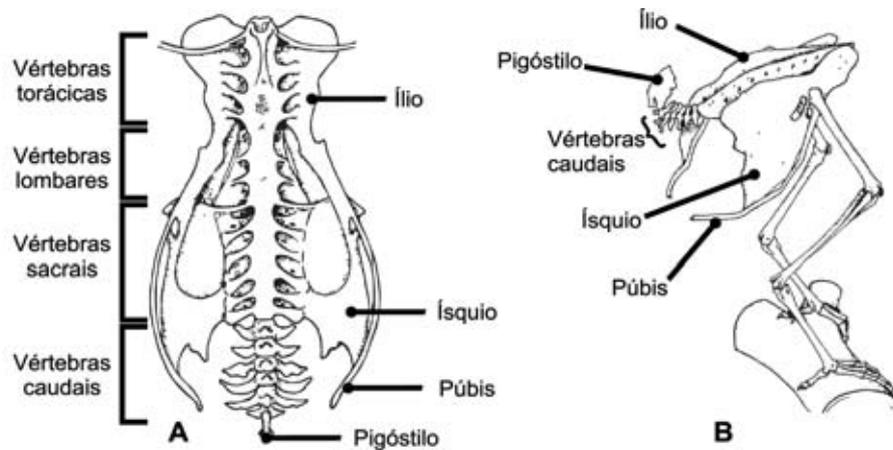
Os répteis apresentam pescoços mais distintos que os anfíbios e duas (às vezes mais) vértebras sacrais para auxiliar no suporte dos membros, que são mais fortes neste grupo. Em geral os centros vertebrais são procélicos, podendo existir também outras formas. Os arcos hemáticos só estão presentes nas vértebras caudais, constituindo ossos em forma de “Y”.



Coluna vertebral de um lagarto.

Nas aves, as modificações da coluna vertebral estão relacionadas ao voo. Esta classe possui o maior número de vértebras cervicais, em geral de 15 a 20, com centros vertebrais do tipo heterocélico. Duas vértebras sacrais se fundem a 10 a 20 vértebras do tronco e da cauda, formando a estrutura conhecida como sinsacro, que se une às duas metades da cintura pélvica. Na região do tronco restam de 4 a 6 vértebras, podendo haver também fusão entre algumas delas. Estas modificações resultam em um tronco curto e rígido, necessário ao voo. Acredito que você esteja se perguntando como uma condição dessas poderia facilitar o voo. Vamos fazer uma analogia para facilitar o entendimento. Imagine a estrutura de um avião. Da mesma forma que nas aves, o “corpo principal” é rígido. Pense agora no mesmo avião, só que este se dobrando em alguns pontos de seu corpo principal durante o voo. Se isso acontecesse, a resistência seria muito grande, inviabilizando o voo. As aves apresentam também redução no número de vértebras caudais (em geral para 6 ou 7) e fusão de 4 a 7 vértebras da porção distal da cauda, que origina a estrutura conhecida como pigóstilo. Esta estrutura auxilia na sustentação das penas da cauda (rectrizes).

Cordados I



Modificado de: Livingstone © BIODIDAC

Vista ventral (A) e lateral (B) da região do tronco de uma ave.

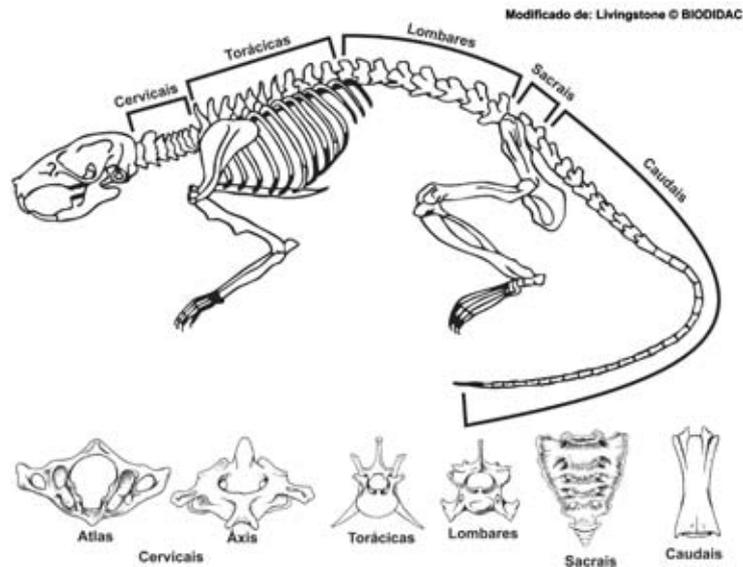
Pilosa

Ordem da classe Mammalia que agrupa as preguiças e tamanduás

Os mamíferos possuem vértebras com centros vertebrais do tipo acélico. Durante a sua formação, o centro vertebral é revestido por capas ósseas semelhante a placas, denominada epífises. Com o crescimento as epífises se fundem ao centro vertebral. Normalmente são encontradas sete vértebras cervicais (seis em alguns representantes das ordens **Pilosa** e **Sirenia** e 20 vértebras no troco, divididas em 13 torácicas, com costelas, e sete lombares. As vértebras lombares normalmente possuem centros vertebrais maiores e espinhos neurais mais robustos e menores, com processos transversais mais desenvolvidos, quando comparados às vértebras torácicas. Três ou mais vértebras sacrais se fundem para formar o sacro. Em geral, entre 21 e 23 vértebras caudais estão presentes, ou podem estar restritas ao cóccix.

Sirenia

Ordem da classe Mammalia que agrupa os peixes-boi



Vértebras de um mamífero.

ARTICULAÇÃO CRÂNIO-COLUNA VERTEBRAL

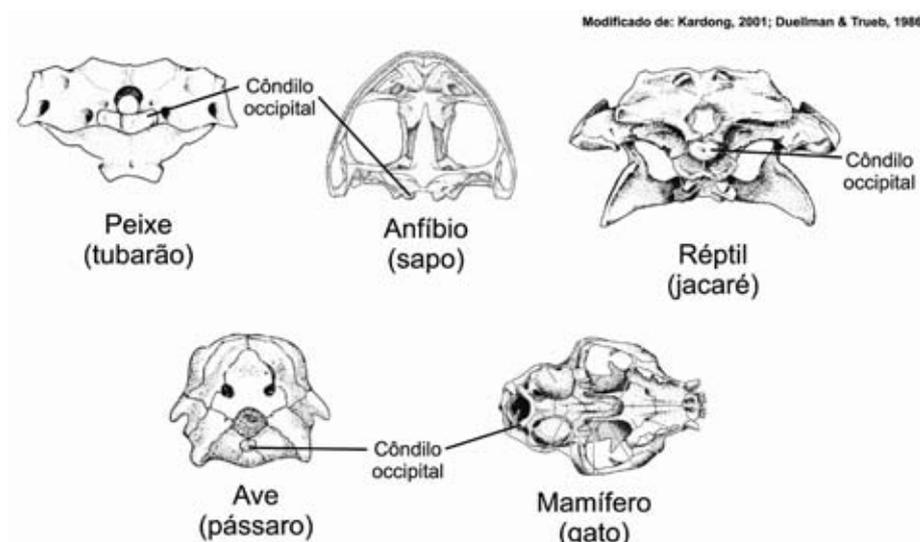
Com relação à articulação do crânio com a coluna vertebral, podemos observar os seguintes padrões:

- em peixes geralmente o processo occipital é semelhante à extremidade de um centro vertebral típico (anficcélico), conferindo à cabeça pouca mobilidade em relação à coluna vertebral;

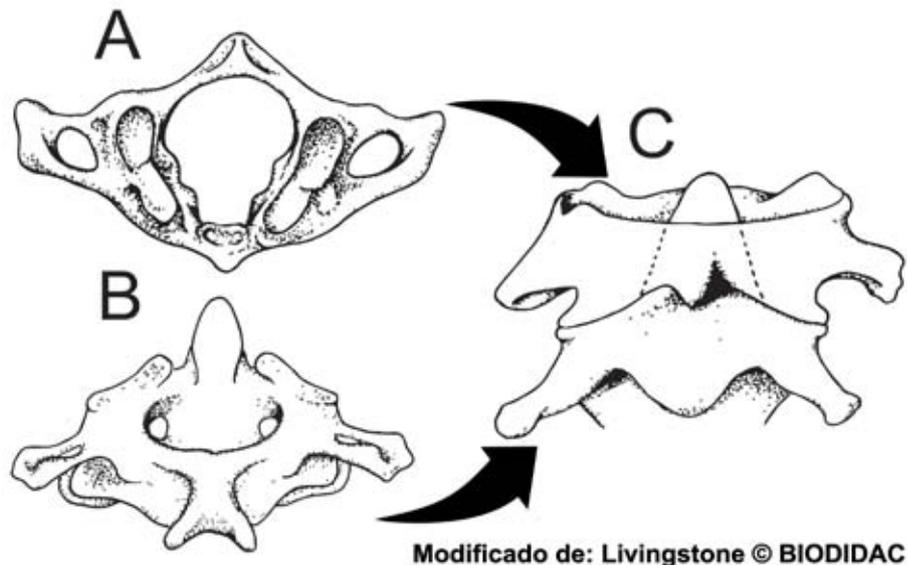
- nos anfíbios, a junção crânio-coluna vertebral é mais flexível. Esses animais são os primeiros a apresentarem um pescoço, sendo este bastante curto;

- répteis e aves apresentam uma articulação do tipo esfera e soquete formada pela primeira vértebra (atlas) e pelo único côndilo occipital. Este tipo de articulação confere uma maior mobilidade à cabeça em relação à coluna vertebral. A segunda vértebra (axis), apresenta-se maior e a articulação entre atlas e axis é especializada;

- as maiores especializações são verificadas nos mamíferos, onde o atlas apresenta grandes zigapófises, processos semelhantes a asas, quase nenhum centro vertebral e nenhum espinho neural. A articulação do atlas com os dois côndilos occipitais permitem movimentos do crânio para cima e para baixo. Já o axis possui um espinho neural laminar e um grande centro vertebral. A articulação atlas-axis possibilita movimentos laterais e rotação em torno do eixo da coluna vertebral.



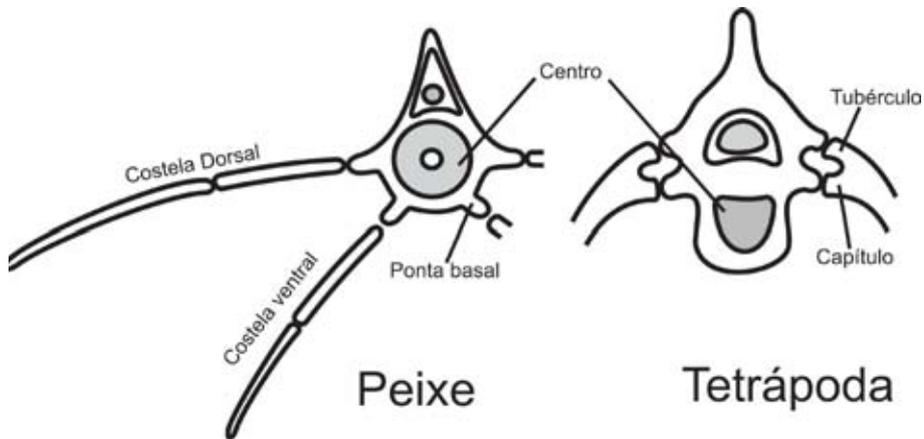
Côndilos occipitais de peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos.



Atlas (A) e axis (B) de um mamífero e sua forma de articulação (C).

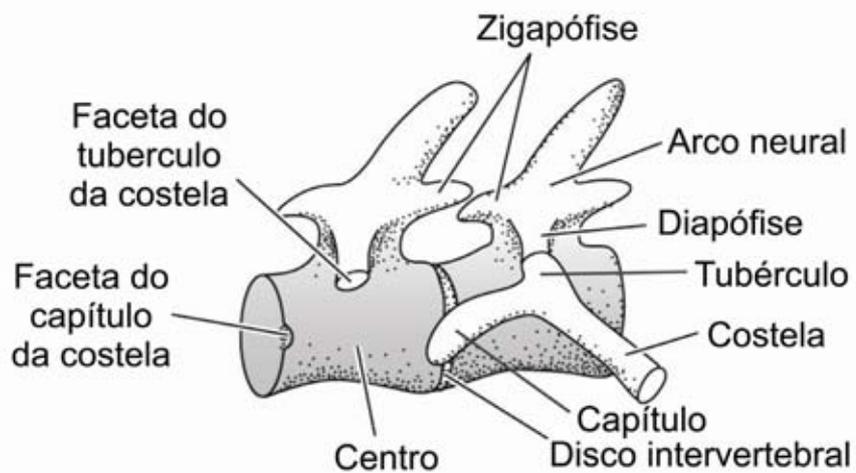
COSTELAS

As costelas são ossos intersegmentares alongados, membranosos ou de substituição, que se articulam às vértebras. Estas estruturas aumentam o contato direto dos músculos axiais com o esqueleto, protegem as vísceras subjacentes e, em amniotas, contribuem para os mecanismos respiratórios. Existem dois tipos de costelas: as dorsais ou intermusculares, de ocorrência nos locais em que septos dividem a massa muscular em dorsal (epiaxial) e ventral (hipo-axial), e as costelas ventrais ou pleurais, que se formam entre os músculos hipo-axiais e o revestimento da cavidade celomática. As costelas mais fracas, com uma única cabeça, podem estar presentes na região caudal do tronco. Os agnatos não possuem costelas, e em amniotas elas são formadas por duas peças, um segmento principal ossificado e uma costela esternal mais curta, que se ossifica nas aves, sendo cartilaginosa nos demais. As aves e alguns répteis possuem processos uncinados, projeções laterais das costelas que fornecem ancoragem a musculatura do ombro.



Costelas dorsais (intermusculares) e ventral.

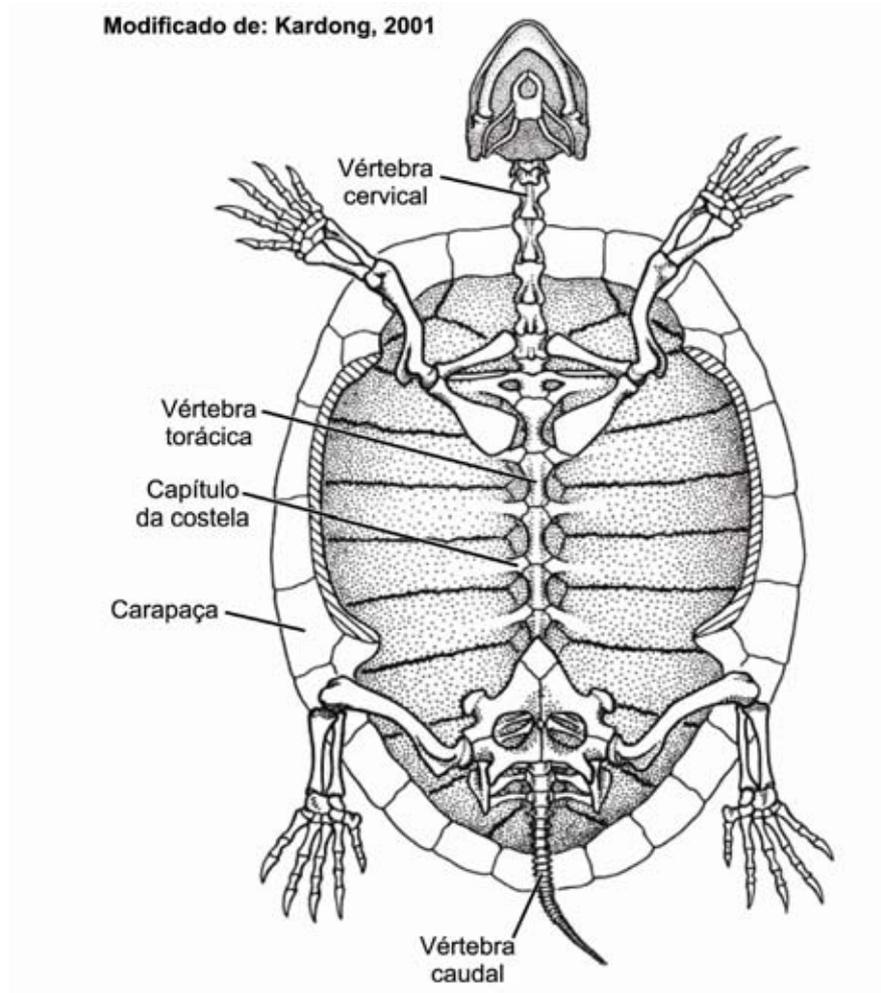
Em geral, as costelas apresentam duas cabeças. Uma mais ventral, chamada capítulo, que se articula com o intercentro, quando presente, ou com o centro vertebral perto da articulação intervertebral. A outra cabeça mais dorsal, o tubérculo, articula-se com a diapófise do arco neural.



Modificado de: Walker & Liem, 1994

Pontos de articulação nas vértebras do capítulo (faceta do capítulo) e do tubérculo (faceta do tubérculo) de uma costela.

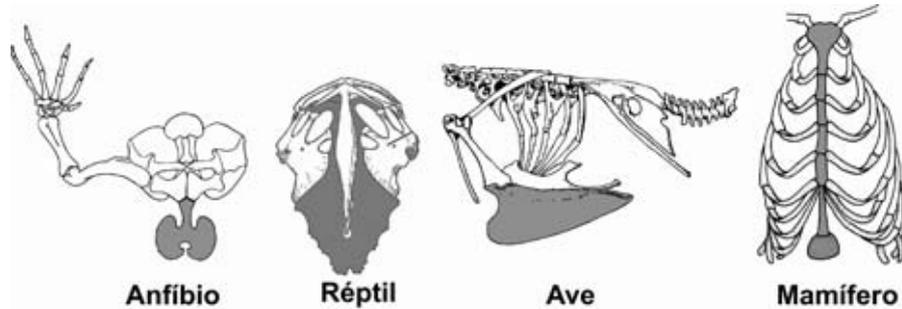
Nos quelônios (tartarugas e afins), as costelas e as vértebras do tronco são fusionadas à estrutura da carapaça, e as cinturas peitoral e pélvica são posicionadas ventralmente em relação às mesmas, característica exclusiva deste grupo.



Costelas e vértebras fusionadas à estrutura da carapaça de um quelônio.

ESTERNO

Na maioria dos tetrápodes, podemos encontrar um elemento esquelético mediano ventral que se articula normalmente com as costelas torácicas mais anteriores. Este elemento é conhecido como esterno, e tem por funções a proteção das vísceras, a acomodação de músculos dos apêndices peitorais, e em alguns auxilia na ventilação dos pulmões ou no voo. O esterno está ausente em serpentes e tartarugas. Nos anuros ele varia desde pouco desenvolvido até bastante ossificado. Em lagartos e crocodilianos, o esterno é cartilaginoso e normalmente grande. Já nas aves esta estrutura se expande e se ossifica, formando uma quilha onde os músculos do voo têm sua origem. O esterno dos mamíferos é dividido em uma série linear de cerca de doze segmentos ósseos.



Modificado de: Livingstone © BIODIDAC

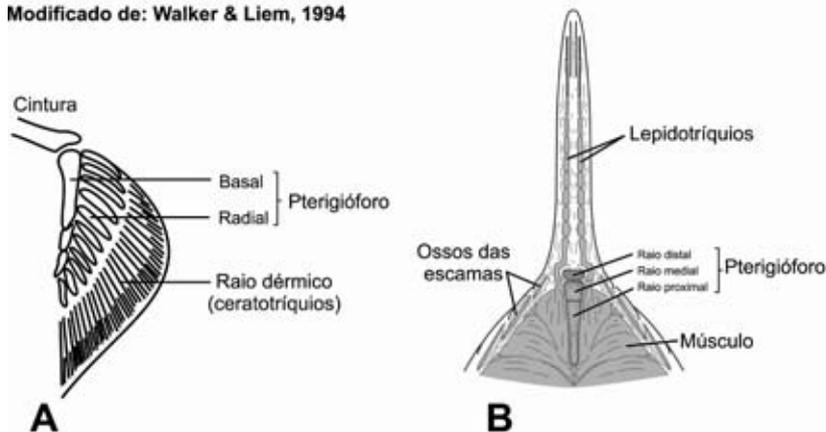
Esternos de um anfíbio anuro, de um réptil (lagarto), de uma ave e de um mamífero.

ESQUELETO APENDICULAR

Como visto anteriormente, o esqueleto apendicular é formado pelos membros (ou nadadeira ou asas) e as cinturas que os sustentam (cinturas peitoral e pélvica). Antes de passarmos ao estudo destas estruturas, gostaria de abrir um parêntese para falar um pouco sobre as nadadeiras ímpares ou medianas. Estas nadadeiras estão divididas em nadadeiras dorsais, localizadas ao longo da linha mediano-dorsal, nadadeiras anais, situadas entre o ânus (ou cloaca) e a cauda, e nadadeira caudal.

A condição primitiva das nadadeiras dorsais e anais, era provavelmente aquela em que cada nadadeira era sustentada internamente por uma série de pterigióforos, em forma de bastonetes com a disposição de um par por segmento do corpo. Em geral, cada pterigióforo está dividido em duas ou mais peças, podendo estar articulado com os espinhos neurais e hemáticos. As nadadeiras são suportadas por uma série de raios. Nos peixes cartilagosos, esses raios são delgados, não segmentados e córneos, e recebem o nome de ceratotríquios; nos peixes ósseos são ligeiramente maiores, segmentados e ósseos, sendo denominados de lepidotríquios.

Modificado de: Walker & Liem, 1994

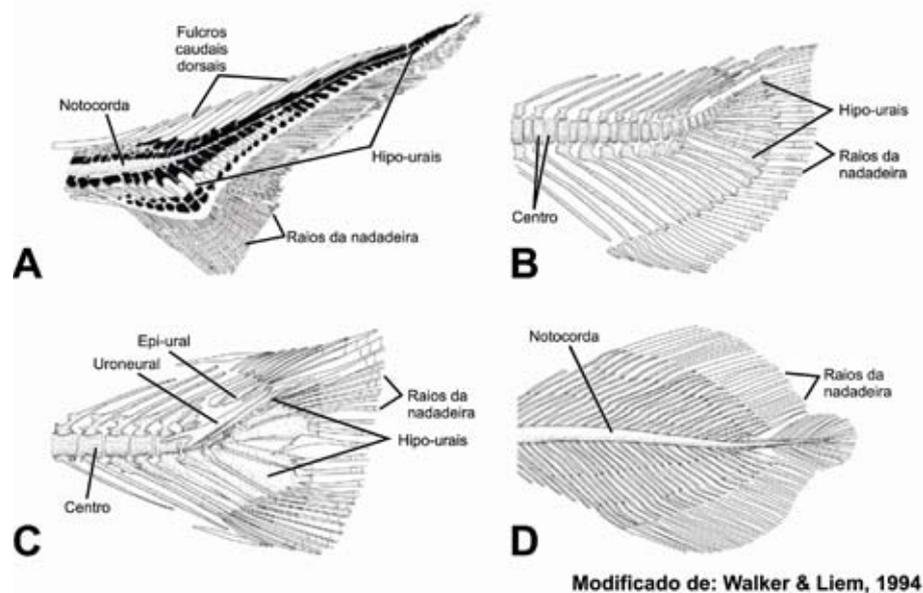


Estrutura interna das nadadeiras dos peixes cartilagosos (A) e ósseos (B), evidenciando os pterigióforos, ceratotríquios e lepidotríquios.

Cordados I

As nadadeiras caudais dos actinoptérgios, são sustentadas, no interior de sua base carnosa, por diversos arcos e espinhos neurais modificados chamados epi-urais e ainda por numerosos arcos e espinhos hemáticos, também modificados, denominados hipo-urais. Os raios das nadadeiras caudais são estruturalmente os mesmos das nadadeiras dorsais e anais. As nadadeiras caudais podem ser classificadas em:

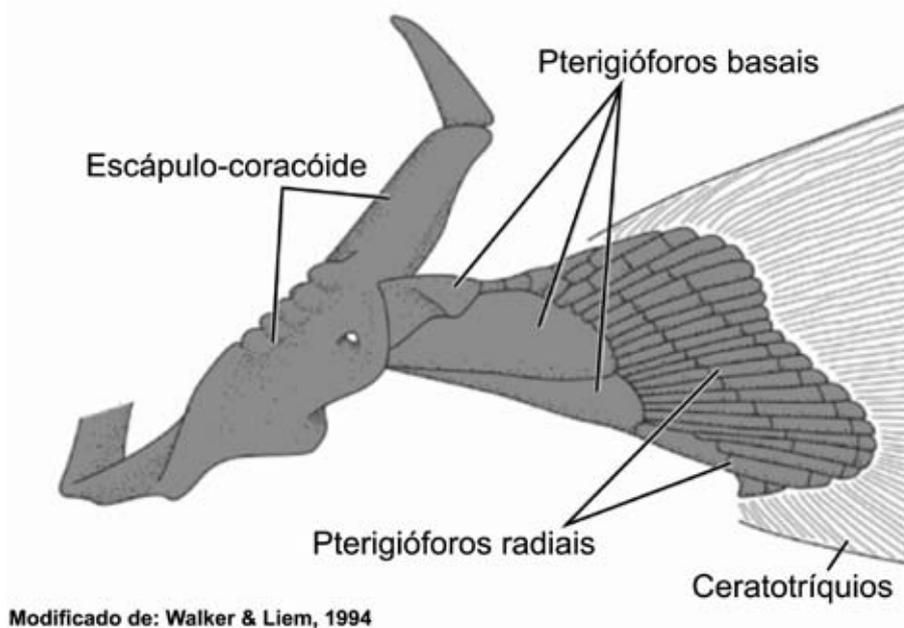
- Dificerca – quando a coluna vertebral se estender até a extremidade da cauda, e os lobos dorsal e ventral da cauda tiverem aproximadamente o mesmo tamanho;
- Heterocerca – a coluna vertebral se inclina penetrando no lobo dorsal, que é mais longo do que o ventral;
- Hipocerca – a coluna vertebral em um lobo ventral maior;
- Homocerca – condição em que toda a membrana da nadadeira for caudal à coluna vertebral e os lobos dorsal e ventral são aproximadamente do mesmo tamanho.



Tipos de nadadeiras caudais dos peixes. Heterocerca (A e B), Homocerca (C) e Dificerca (D).

EVOLUÇÃO DAS CINTURAS

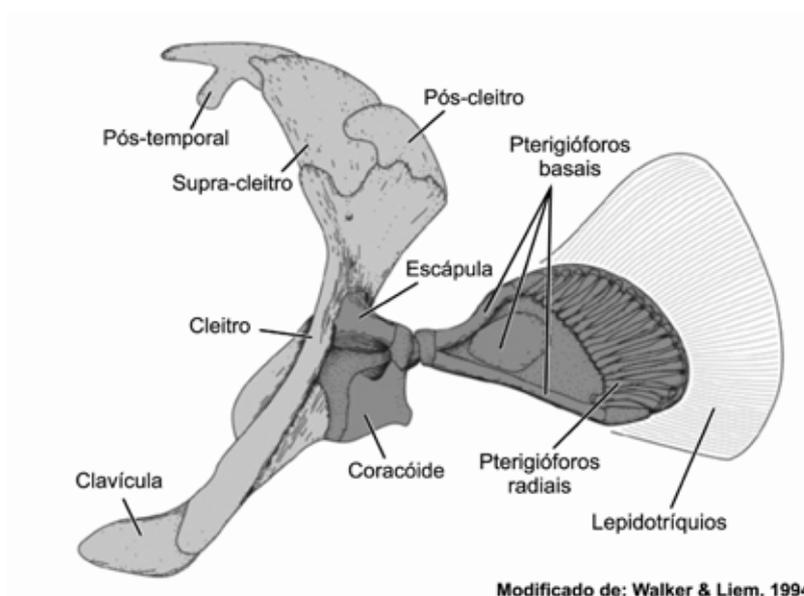
Das cinturas que sustentam os membros, a peitoral é a mais antiga, maior e mais complexa. Ela é formada por um ou mais elementos de ossos de cartilagem (membranosos) ou de substituição, e por diversos ossos dérmicos derivados de escamas ou de placas de armaduras ancestrais. Em Chondrichthyes, os elementos dérmicos estão ausentes e as metades direita e esquerda fundidas na região mediana, resultando em uma cintura em forma de “U”, constituída por uma só peça conhecida como escápulo-coracoide.



Modificado de: Walker & Liem, 1994

Cintura peitoral de um tubarão.

Nos Osteichthyes, o escápulo-coracóide pode se ossificar em uma ou mais unidades. Ossos dérmicos formam a articulação entre a cintura peitoral e o crânio. Em geral, os peixes ósseos não possuem as duas metades da cintura unidas, como relatado para os peixes cartilagosos. O cleitro constitui o elemento dérmico basal, e a clavícula desaparece nos teleósteos mais derivados. Número variado de ossos entre o cleitro e o crânio pode ser observado.

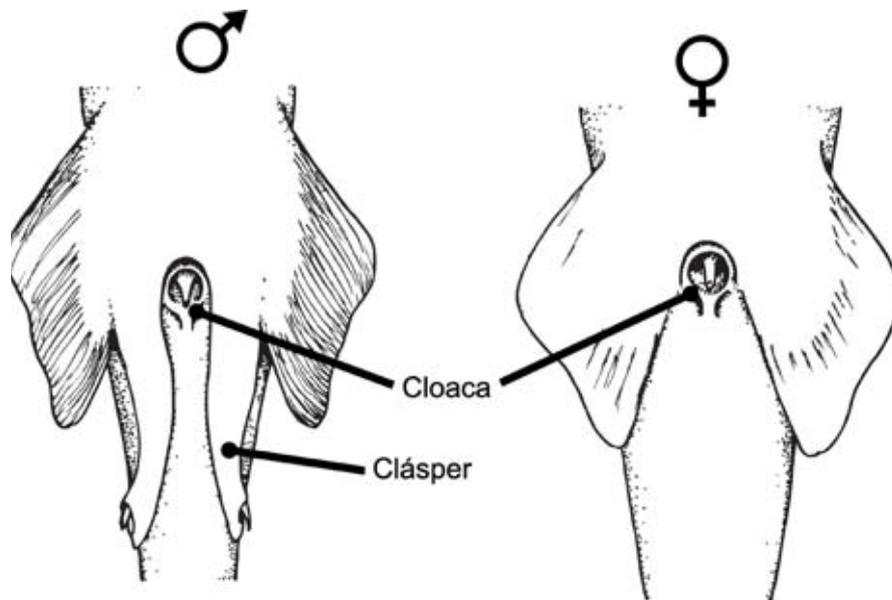


Modificado de: Walker & Liem, 1994

Cintura peitoral de um peixe ósseo.

Cordados I

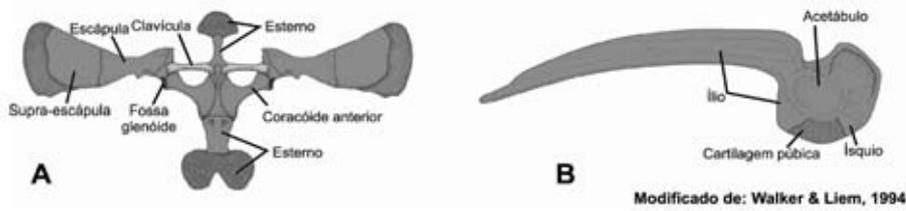
As nadadeiras pélvicas são fracamente sustentadas por um único elemento esquelético em cada lado do corpo, sendo este normalmente ósseo, com exceção dos peixes cartilagosos e dos pulmonados. Em geral, as duas peças que compõem a cintura pélvica estão separadas, mas podem se imbricar ou se articular uma com a outra, e em peixes cartilagosos se encontram unidas na linha mediano-ventral, por uma ponte cartilaginosa. Modificações das nadadeiras pélvicas, relacionadas à cópula, podem estar presentes em espécies com fertilização interna. Estas estruturas são conhecidas por vários nomes nos livros texto ou mesmo nos artigos, variando a depender o autor. Entre os nomes adotados temos: cláspes, áspes ou mixopiterígeos, sendo o primeiro termo, o mais comum. Peixes ósseos com fertilização interna também possuem uma estrutura de cópula conhecida como gonopódio. Esta estrutura é uma modificação da nadadeira anal, representada pelo crescimento diferenciado de seus raios de números três, quatro e cinco.



Modificado de: Livingstone © BIODIDAC

Cintura pélvica de um macho e de uma fêmea de tubarão.

O próximo passo na evolução das cinturas foi a liberação da cabeça nos anfíbios, de modo que ela pudesse girar no pescoço em formação. Para isso todos os ossos dorsais ao cleitro foram perdidos e o contato com o crânio foi interrompido. Nos anfíbios anuros a interclavícula, osso que unia as duas metades da cintura, foi perdida e o cleitro está normalmente ausente. Neste grupo a cintura pélvica é sólida e possui uma forma mais ou menos triangular. O púbis se distingue do ísquio por um forame e o ísquio é longo e inclinado para frente.

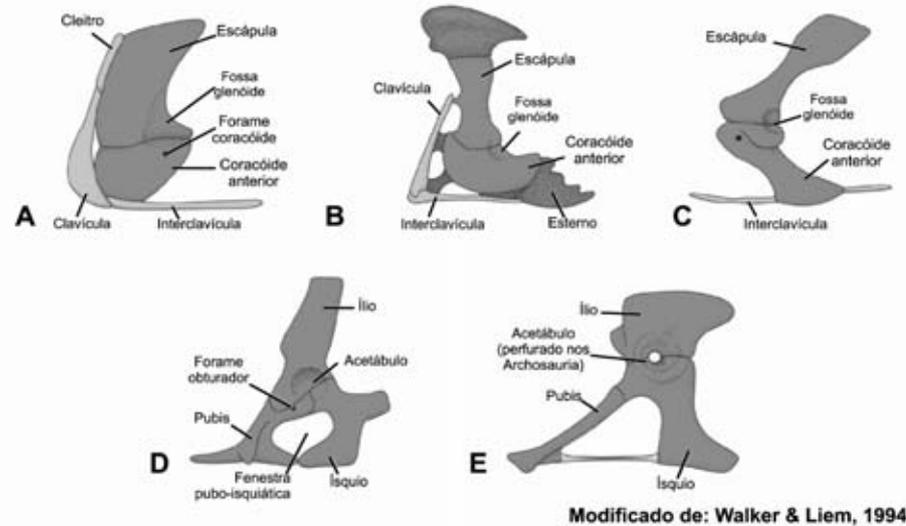


Cinturas peitoral (A) e pélvica (B) de um anfíbio anuro.

Nos répteis basais, Synapsida e **Monotremata**, a interclavícula e a clavícula estão presentes e o cleitro aparece, pela última vez, no primeiro grupo. A escápula é grande e dois coracoides (pré-coracóide e coracóide) estão presentes. As tartarugas, os Lepidossauria (lagartos, serpentes e o tuatara) e os Archosauria (aves e crocodilianos), geralmente perderam o coracóide caudal e, pelo menos alguns dos ossos de membrana. A cintura pélvica é variada entre répteis, mas em geral o contato da coluna com a cintura é mais firme.

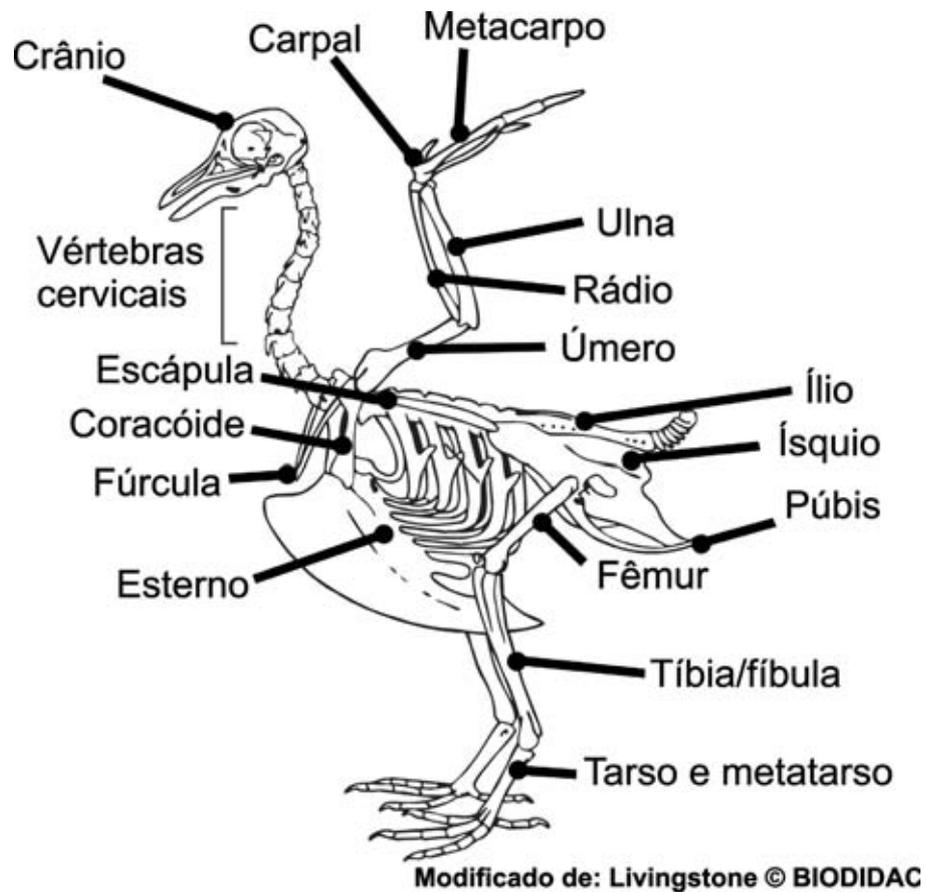
Monotremata

Ordem de mamífero, que mantém o modo reprodutivo ancestral, com postura de ovos. Entre seus representantes temos os ornitorrincos e as equíquinas.



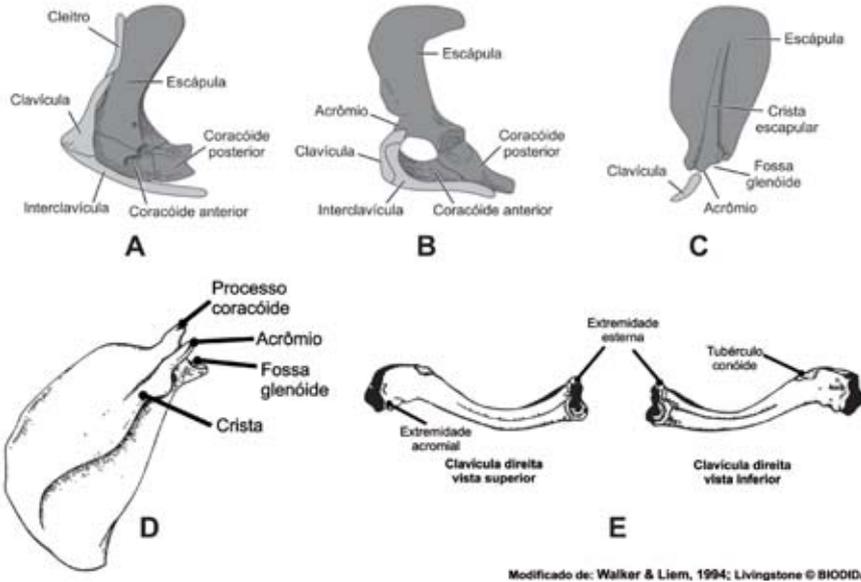
Cinturas peitorais dos répteis basais (A), tuatara (B) e crocodilianos (C) e cinturas pélvicas de um tuatara (D) e de um crocodiliano (E).

Nas aves, a escápula tem forma laminar e está localizada paralela à coluna vertebral. O grande pré-coracóide se articula firmemente com o esterno e o coracóide foi perdido. Neste grupo as clavículas se fundem ventralmente dando origem à fúrcula, conhecida popularmente como “osso-da-sorte”. A cintura pélvica é grande e firmemente presa ao sinsacro. O longo ílio estende-se tanto para a região anterior como para a posterior até o encaixe do fêmur, o acetábulo.



Esqueleto de uma ave.

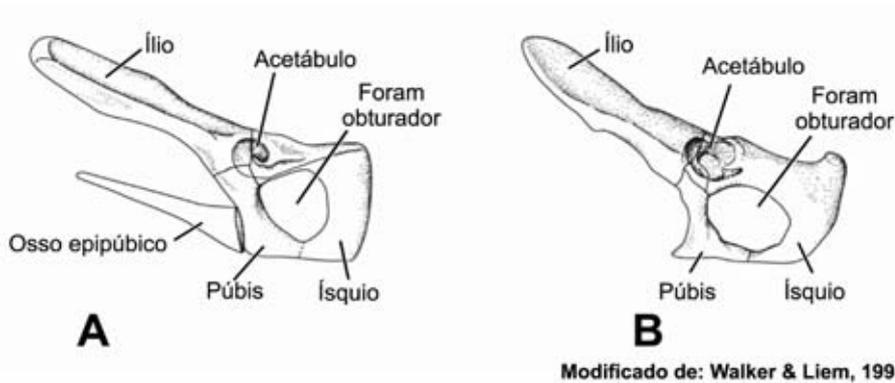
Nos mamíferos Theria, a clavícula é o único osso de membrana mantido, e até mesmo ele pode ser perdido em algumas espécies. Neste grupo, o pré-coracóide é perdido e o coracóide se funde à escápula formando o processo coracóide. A escápula apresenta uma crista, originada do osso ancestral, que em sua extremidade ventral continua como processo do acrômio para articular-se com a clavícula. Na cintura pélvica, o ílio é longo e expandido, e os ossos epipúbicos estão presentes em monotremados e marsupiais.



Modificado de: Walker & Liem, 1994; Livingstone © BIODIDAC

Cinturas peitorais de um Synapsida (A), de um ornitorrinco (B), de um gambá (C) e do homem (D) e clavícula de um homem (E).

De certo modo as cinturas pélvicas dos tetrápodes são relativamente uniformes em sua estrutura básica, sendo três ossos constantes nos adultos. Temos um ílio dorsal, que se articula com uma ou mais vértebras sacrais, um púbis anterior e um ísquio posterior. Em geral os ossos de um lado se fundem com os do outro, formando o osso inominado. Na região ventral pode ocorrer a articulação dos ossos ventrais, ou mesmo a fusão destes ao longo da linha mediana ventral. Este contato é conhecido como sínfise pelvina.

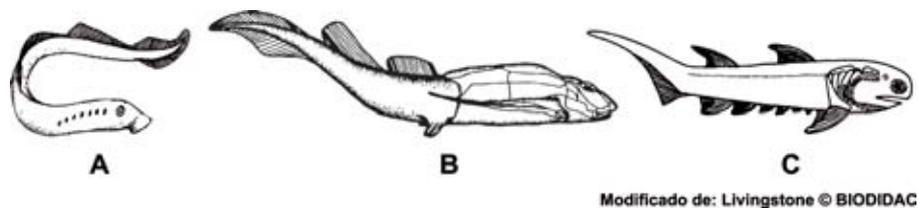


Modificado de: Walker & Liem, 1994

Cinturas pélvicas de um gambá (A) e de um felino (B).

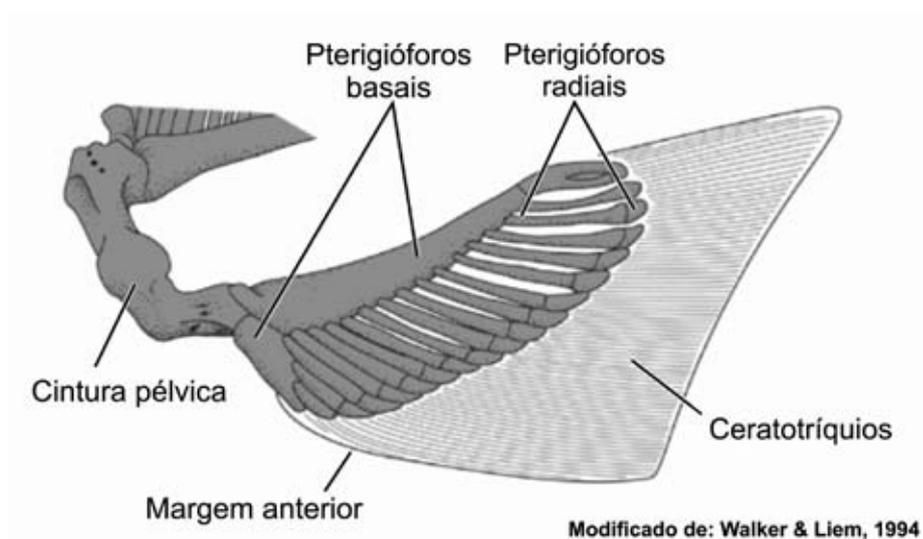
EVOLUÇÃO DOS APÊNDICES PARES

Os primeiros dos apêndices pares a aparecer foram as nadadeiras laterais, que propiciaram um aumento na estabilidade dos peixes durante a natação. Os primeiros vertebrados Agnatha não apresentavam estas estruturas, e mesmo suas formas mais derivadas, existentes hoje ainda, mantêm o padrão ancestral. Os primeiros registros de nadadeiras pareadas surgiram em grupos de peixes fósseis como os placodermes e acantódios. Nesses animais os primórdios dos apêndices pares variaram desde nadadeiras rígidas, apêndices articulados, até nadadeiras com múltiplos espinhos.



Peixes agnatos (A), placodermes (B) e acantódios (C).

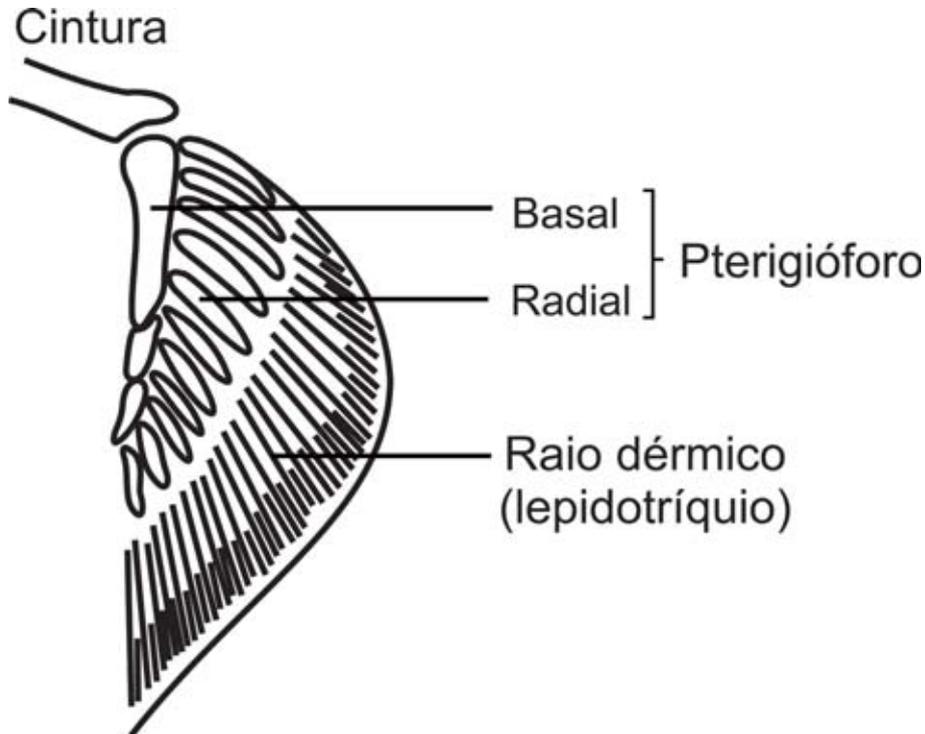
Em peixes cartilagosos, o padrão das nadadeiras pares foge pouco daquele encontrado no ancestral. Sustentando a nadadeira encontramos basais, normalmente três, dos quais partem numerosos radiais. Os ceratotríquios, já comentados para os apêndices ímpares, complementam o esqueleto das nadadeiras pares.



Nadadeira pélvica de um tubarão.

Nos peixes de nadadeiras raiadas, os actinoptérgeos, é possível verificar algumas variações como a presença de um a três basais nas formas

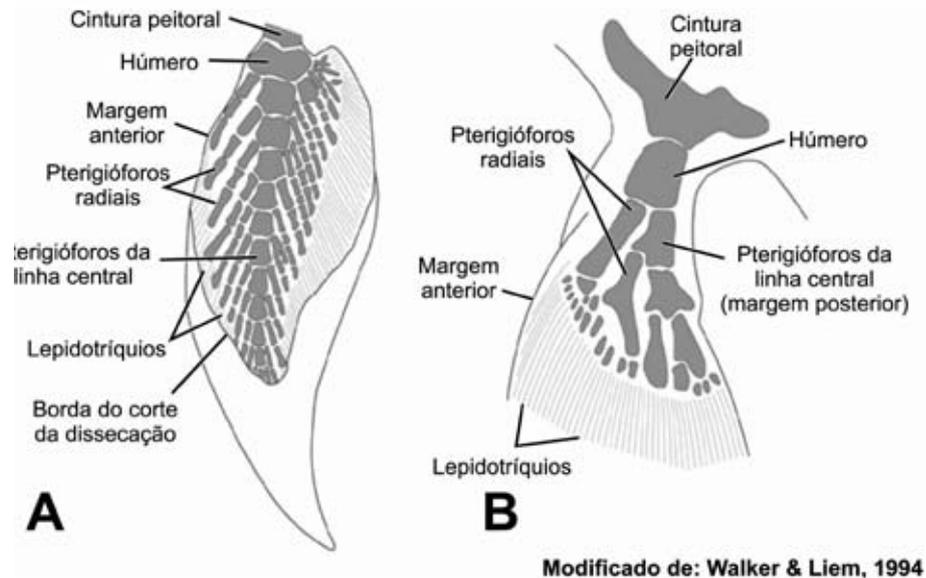
mais antigas (Chondrostei), radiais curtos, e complementando o esqueleto da nadadeira, os lepidotríquios. Já as formas mais derivadas (Neopterygii) não apresentam basais e poucos radiais estão presentes.



Nadadeira de um peixe ósseo.

As nadadeiras dos peixes Sarcopterygii, são consideradas ancestrais dos membros dos tetrápodes. Sua estrutura foi modificada pela re-orientação dos basais que se projetam para o interior da nadadeira como eixo do seu pedúnculo carnoso. Dois tipos básicos de nadadeiras pares podem ocorrer neste grupo. A primeira é conhecida como arquiopterígio, presentes nos peixes pulmonados (Dipnoi), e que tem por principais características, radiais bisseriais, sendo uma série de cada lado de um eixo mediano. A segunda é chamada de crossopterígio, encontrada nos celacantos. Nesta nadadeira os radiais são uniseriados, existindo uma série em um dos lados de um eixo lateral mais curto.

Cordados I

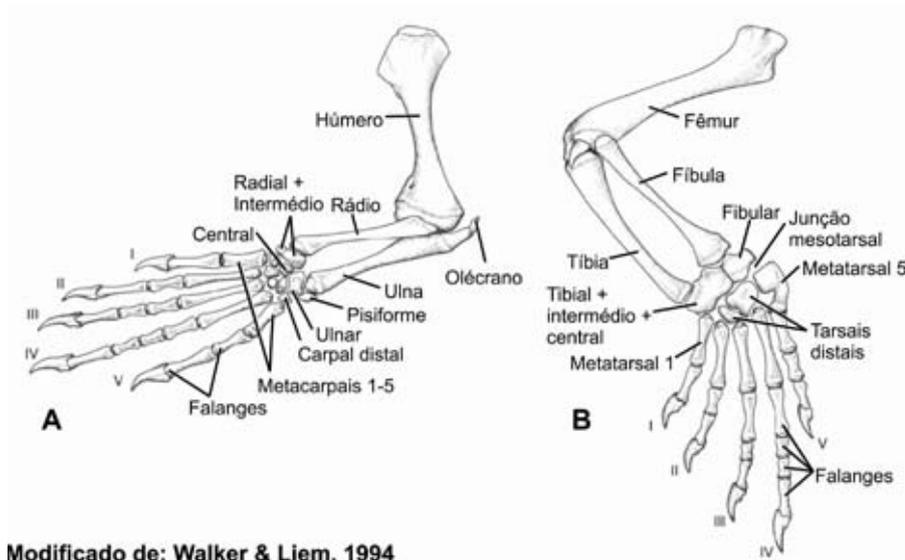


Modificado de: Walker & Liem, 1994

Nadadeiras arquiopterígio (A) e crossopterígio (B).

Os peixes ancestrais dos tetrápodes provavelmente utilizavam as fortes nadadeiras para andar sobre o fundo e rastejar para praias úmidas, a fim de fugir de predadores aquáticos ou para encontrar alimento no ambiente terrestre. A modificação de uma nadadeira para um membro requereu perda dos raios, aquisição de dígitos e re-orientação dos ossos. O membro inicial posicionava-se lateralmente, e flexões no cotovelo e pulso, no joelho e tornozelo permitiram a elevação do corpo. O pé também foi re-direcionado para frente.

Apesar de funções bem variadas, o membro do tetrápode mantém uma unidade estrutural básica. Na região dos pulsos encontramos os ossos que formam o carpo e no tornozelo os que compõem o tarso. Juntos, esses ossos são conhecidos como podiais. Na mão e nos pés temos os ossos metacarpais e metatarsais, respectivamente, que em conjunto são conhecidos como metapodiais. Nos membros peitorais, além dos ossos da mão, normalmente encontramos o úmero em uma posição proximal em relação ao corpo e medialmente o rádio e a ulna. Já nos membros pélvicos (ou pelvins) temos na região proximal o fêmur, e na região medial a tíbia e a fíbula. Estas estruturas podem se fundir em alguns grupos (ex. rádio e ulna em anfíbios anuros são fundidas) ou mesmo ser eliminadas (ex. serpentes, que perdem todos os ossos dos membros e também das cinturas). Nas aves e morcegos os membros anteriores são modificados em asas, e em alguns mamíferos aquáticos (ex. baleias, peixes-boi, golfinhos) em nadadeiras. Neste segundo grupo, modificações estão presentes também nos membros posteriores.



Modificado de: Walker & Liem, 1994

Membros anterior (A) e posterior (B) e um Varanus (dragão de Komodo).

CONCLUSÃO

Diante do que foi estudado, podemos verificar que o meio influencia muito na estrutura do esqueleto pós-cranial. Os organismos aquáticos, como os peixes, possuem densidades próximas ao meio onde vivem. Dessa forma, a água por si só já oferece certo suporte a esses animais. Sob essas condições, movimentos laterais são melhores para o deslocamento, exigindo assim mais da região axial do animal do que da apendicular. Quando os organismos chegaram à terra, novas pressões foram estabelecidas. A gravidade agora passa a interferir bastante na estrutura dos organismos. Os apêndices pares passam a se relacionar com a coluna vertebral de modo a transmitir seu suporte ao eixo do corpo. Associado a isto, toda a musculatura apendicular se desenvolve, aumentando em proporção, ao contrário da axial que diminui em volume. Esse novo reposicionamento resultou também na formação de um pescoço e na liberação da cabeça, que apresenta agora uma melhor mobilidade. Essas modificações permitiram que novos modos alimentares fossem estabelecidos, favorecendo esses animais no ambiente terrestre.



RESUMO

O sistema esquelético pós-cranial é formado pela coluna vertebral, costelas, esterno, cinturas peitoral e pélvica e membros anteriores e posteriores (ou nadadeiras, ou asas). Tem como funções: proteção às vísceras, ventilação dos pulmões em amniotas, reservatório de minerais, aumento da rigidez para um corpo mole e fornecimento de pontos para inserção da musculatura. A coluna vertebral é formada por um conjunto de vértebras, que recebem diferentes nomes baseados na forma de seus centros vertebrais sendo elas classificadas em anficélicas, procélicas, opistocélicas, acélicas e heterocélicas. Com a saída da água para a terra, a coluna vertebral, antes quase uniformemente flexível ao longo do seu eixo, passou a ter que resistir a flexões em determinados lugares e fornecer uma nova mobilidade em outros. Os apêndices pares passam a se relacionar com a coluna vertebral de modo a transmitir seu suporte ao eixo do corpo. Para suportar este eixo, o esqueleto apendicular aumenta também em proporção. Novos modos de locomoção e de exploração dos recursos são estabelecidos.



ATIVIDADES

Para desenvolver esta atividade será importante que você tenha em mãos esqueletos de diferentes grupos de vertebrados.

1. Inicialmente procure fazer um desenho esquemático do esqueleto de um peixe e de um lagarto. Neste desenho indique que elementos fazem parte do sistema esquelético axial e do sistema esquelético apendicular.
2. Conhecidas essas regiões (axial e apendicular) procure verificar a representatividade (a proporção) de cada uma delas nos animais estudados. Qual a explicação destas diferenças?
3. Procure avaliar as vértebras de peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Descreva cada uma. Por que elas se apresentam tão diferentes?
4. Onde estão articuladas as cinturas peitorais e pélvicas dos peixes e dos tetrápodes? Como você explica as diferenças observadas?
5. Esquematize o esqueleto de uma ave e discorra sobre as adaptações do sistema esquelético para o voo.
6. Como podemos distinguir as vértebras do tronco dos mamíferos?



PRÓXIMA AULA

O conteúdo seguinte tratará do sistema muscular, principalmente dos músculos esqueléticos, que trabalham em conjunto com o sistema de alavancas que acabamos de estudar.

AUTO AVALIAÇÃO

Antes de passar ao próximo conteúdo procure avaliar mentalmente o que foi visto em cada tópico, e quais as principais características e adaptações aos ambientes em que os animais estão inseridos. Só passe para a aula seguinte quando realmente estiver seguro sobre o conteúdo trabalhado.



REFERÊNCIAS

HILDEBRAND, M.; GOSLOW- JR, G.E. **Análise da estrutura dos vertebrados**. 2 ed. São Paulo, Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2006.

HÖFLING, E.; et al. Chordata. São Paulo. Editora Universidade de São Paulo. 1995.

KARDONG, Kennet K. **Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution**. 4 ed. Boston: McGraw-Hill, 2006.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados**. 4 ed. São Paulo Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2008.

WALKER-JR, W.F.; LIEM, K.F. **Functional Anatomy of the Vertebrates**. 2 ed. Sunders College Publishing. Orlando, Florida. 1994.