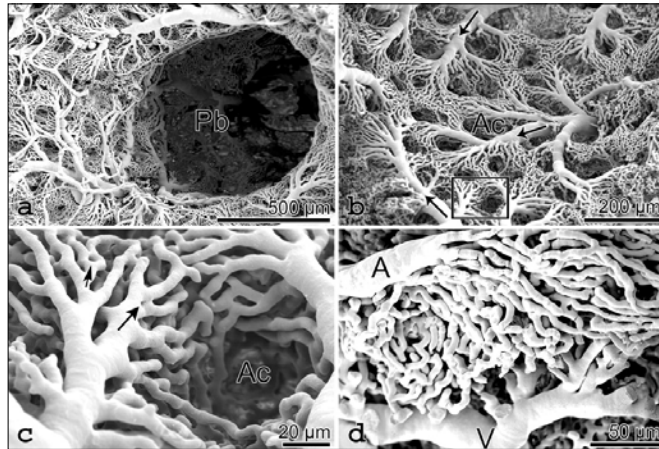


Sistemas Respiratório + Circulatório



Taran Grant | Departamento de Zoologia | taran.grant@gmail.com

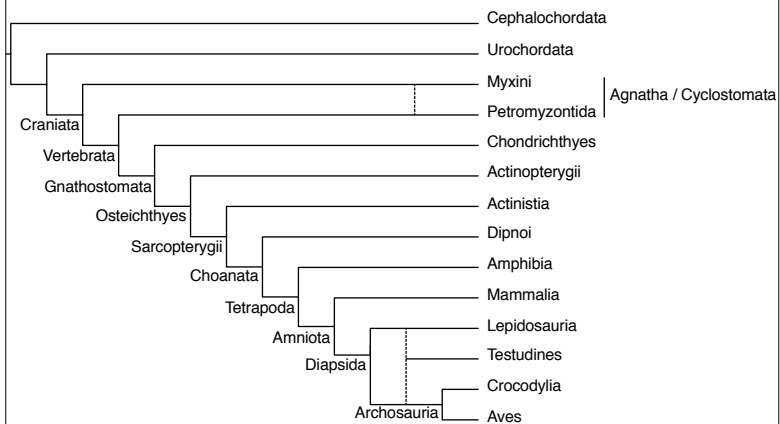
Sistema respiratório + circulatório (intro)

Princípios do sistema respiratório

Principais órgãos respiratórios

Mecanismos de ventilação

Filogenia de Chordata



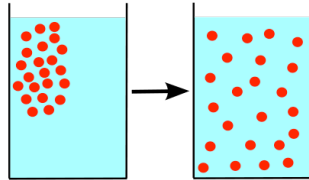
Para sobreviver, as células dos vertebrados devem:

1. Reabastecer O_2
 2. Eliminar CO_2
- = troca de gases

Por que é que os sistemas respiratório + circulatório
são necessários para isso?

Mecanismo = Difusão Passiva

Movimento de moléculas por energia térmica de áreas de alta concentração para áreas de baixa concentração até conseguir a distribuição uniforme de moléculas (=equilíbrio)



August Krogh: Máximo tamanho de um organismo esférico aquático seria 0,5 mm

Demoraria vários anos para uma molécula de O_2 viajar entre o pulmão e o pé por difusão

Sistema Respiratório + Sistema Circulatório

Trabalham juntos para aumentar a taxa de difusão

Sistema respiratório: troca de gases respiratórios entre a superfície do organismo e o ambiente

também: termorregulação, regulação de água, excreção de substâncias voláteis, recepção e produção de sons

Sistema circulatório: transporte de gases respiratórios, ligação das células mais profundas do organismo com o ambiente

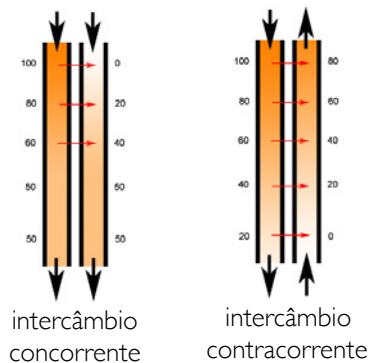
também: termorregulação, transporte de nutrientes, água, eletrólitos, enzimas, hormônios e outros reguladores biogênicos, anticorpos, coagulação, principal lugar para reações imunológicas

Fatores que afetam a taxa de difusão

1. Área da superfície para difusão (área grande)
2. Distância que as moléculas devem viajar (epitélio fino, sistema circulatório)
3. Resistência ao movimento de moléculas (tecidos úmidos, sem queratina)
4. Diferença entre as concentrações em cada área (contracorrente etc.)

Intercâmbio Contracorrente

A taxa de difusão depende da diferença entre as concentrações em cada lado da barreira



Brânquias extraem 80–90% do O_2 dissolvido na água

Sistema Respiratório

Três Significados de Respiração

1. Processo de inspiração e expiração = ventilação
2. Uso de O_2 no metabolismo celular = respiração celular
3. Troca de gases = respiração (hematose)

Dois Tipos de Respiração

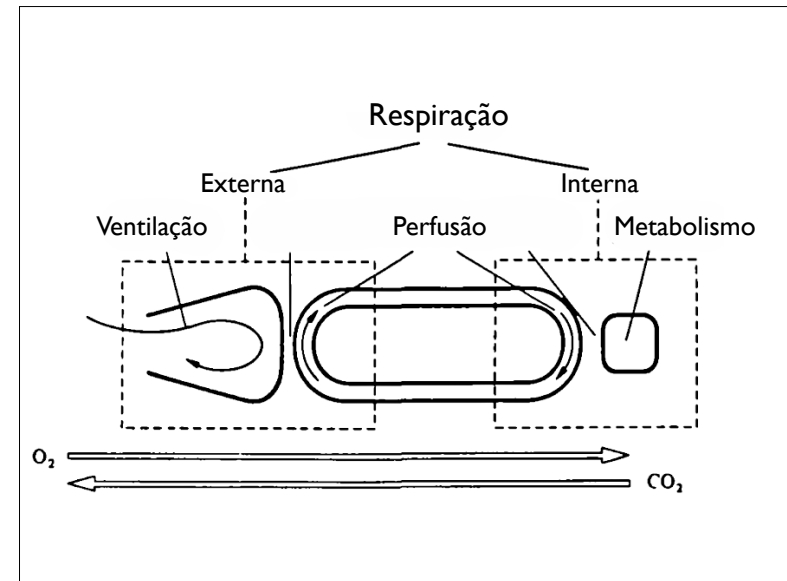
1. Respiração externa: troca de gases entre o sangue e o ambiente através da superfície de intercâmbio = sistema respiratório
2. Respiração interna: troca de gases entre o sangue e os tecidos profundos

Perfusão: a irrigação de um órgão ou tecido com um líquido (sangue)

Ventilação: o processo ativo da movimentação de meio respiratório (água, ar) pela superfície de intercâmbio

Unidirecional: Ar entra e sai por caminhos diferentes

Bidirecional (= "tidal"): "Poça ventilada", ar entra e sai pelo mesmo caminho

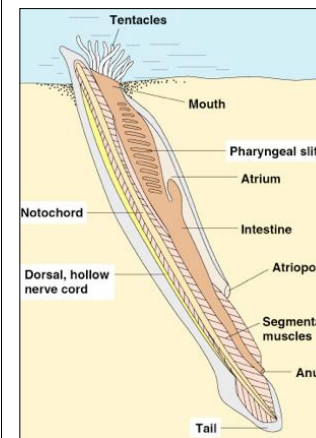


Sistema Respiratório

Principais órgãos respiratórios

Mecanismos de ventilação

Respiração em "protovertebrados"



Branchiostoma (=amphioxus)

Brânquias filtram alimento

Respiração principalmente no átrio e o tegumento

Sangue não tem pigmentos respiratórios nem eritrócitos, muda de direção, fluxo lento

Cavidades celômicas em contato com superfícies respiratórias

Líquido celômico perfunde músculos durante natação

Para mais detalhes: Schmitz et al. 2000

Principais Órgãos Respiratórios

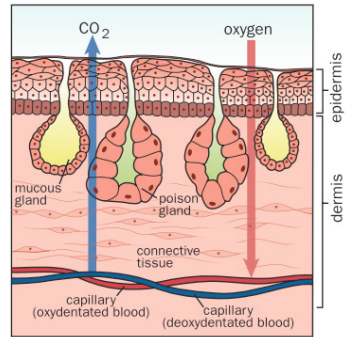
I. Tegumento

Grande superfície

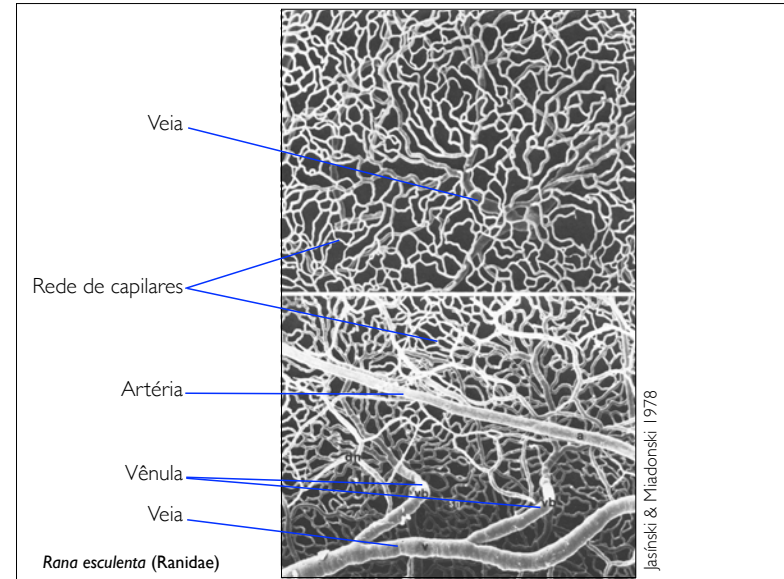
Tegumento fino, úmido,
com alta densidade capilar

“Poça infinita”

Passivo (sem mecanismo
de ventilação) ou ativo



Tegumento de Amphibia



>420 espécies de anfíbios não tem pulmões



Plethodontidae
(418 spp)



Onychodactylus
(Hynobiidae) (3 spp)



Nussbaum & Wilkinson 1995
Atretochoana eiselti
(Typhlonectidae)



Foto: David Bickford
Barbourula kalimantanensis
(Bombinatoridae)

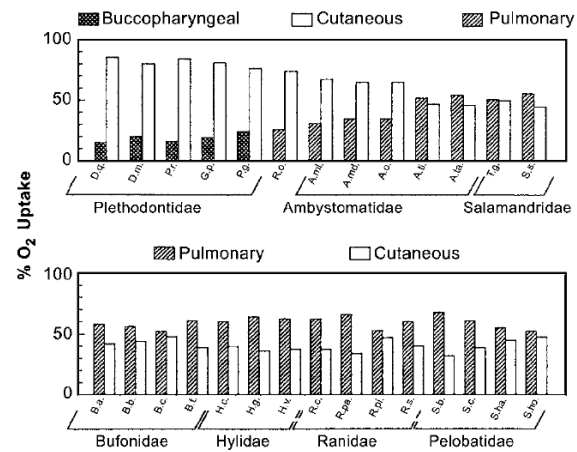


Foto: Paolo Mazzei
Euproctus montanus
(Salamandridae)

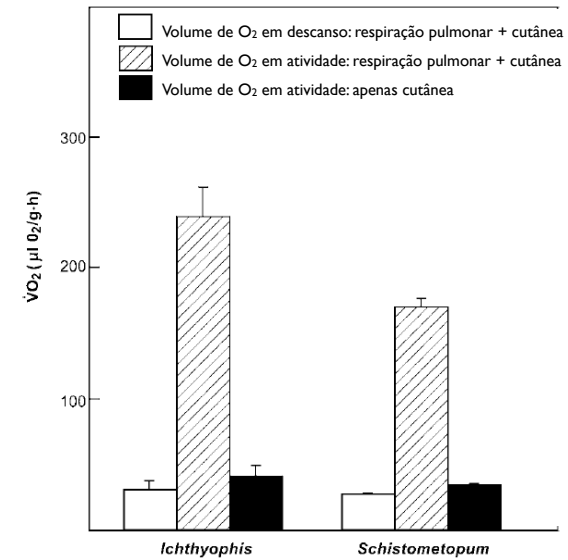
Papilas cutâneas



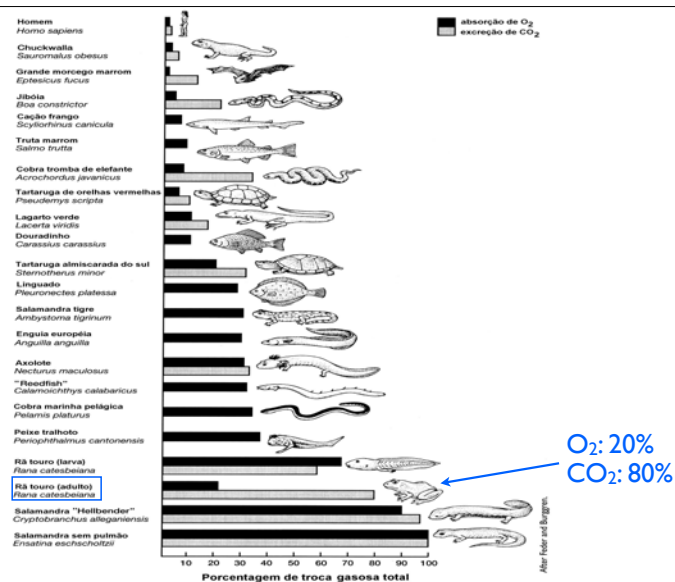
Trichobatrachus robustus (Arthroleptidae)



Wells 2008



Wells 2008



Mecanismos de Ventilação do Tegumento

Deslocamento
Balanço de pele frouxa
Cílios



Leptodactylus validus

Principais Órgãos Respiratórios

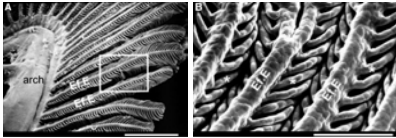
2. Brânquias

Densas camadas de capilares suportadas pelos arcos branquiais

Órgãos complexos de tecido epitelial, circulatório, neural

Respiração aquática (H_2O tem 5% do O_2 do ar)

Grande área de superfície, epitélio fino, altamente vascularizado



Evans et al. 2005

Bolsas branquiais: Cyclostomata (se monofilético)

Câmaras branquiais saculiformes com poros internos e externos em vez de fendas.

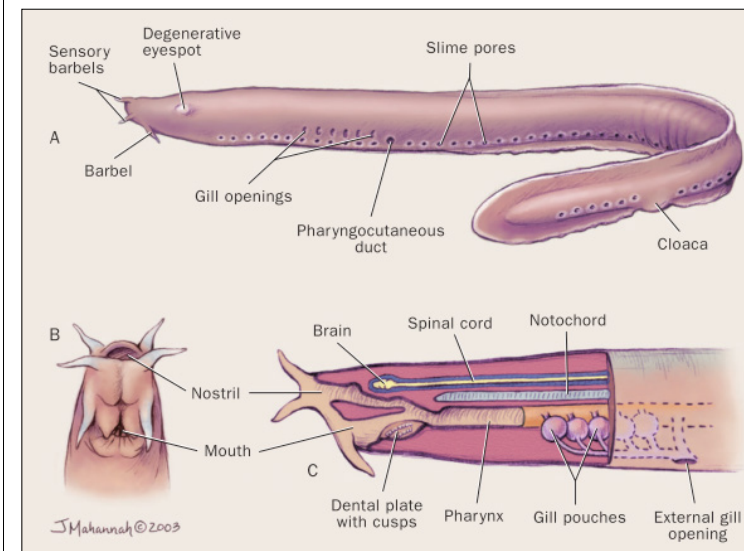
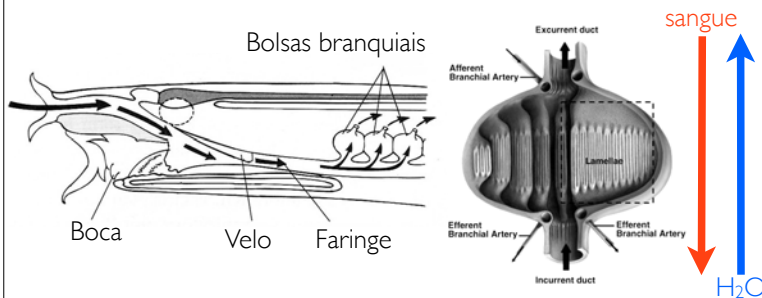


Myxini (feiticeiras)

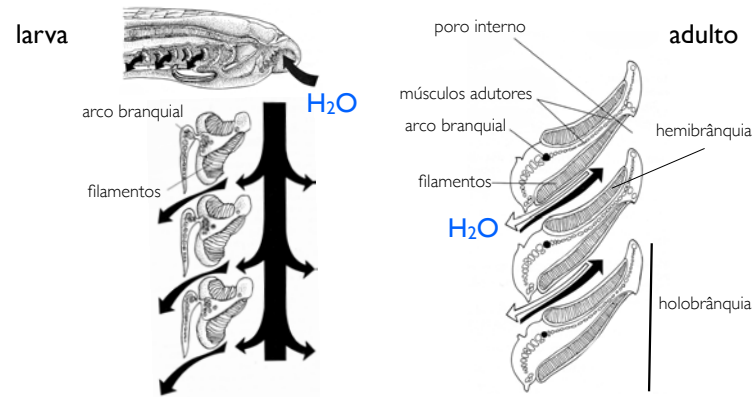


Hyperoartia (lampreia)

Myxini (feiticeiras): Água entra pela narina (não a boca) e passa pela faringe por contrações do velo, bolsas branquiais com canal incurrente e excurrente, sai por um poro externo comum ou poros independentes. Sem arcos branquiais. 5–14 bolsas branquiais.

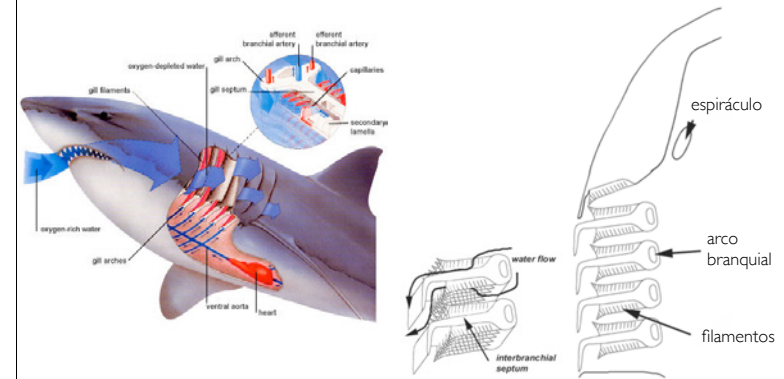


Petromyzontida (lampreia): Ventilação unidirecional em larvas (água entra pela boca, sai pelo poro externo) ou bidirecional em adultos (água entra e sai pelo mesmo poro externo), base dos arcos branquiais externa (lateral) às hemibrânquias, 7 bolsas branquiais.



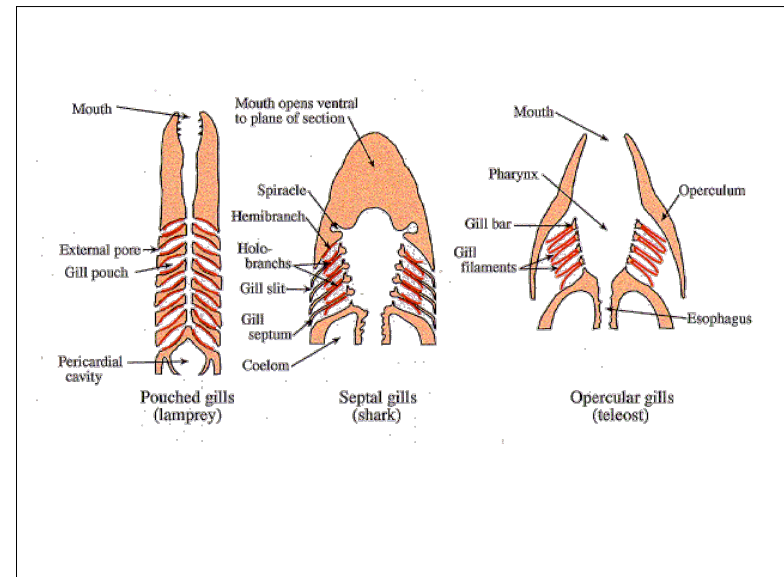
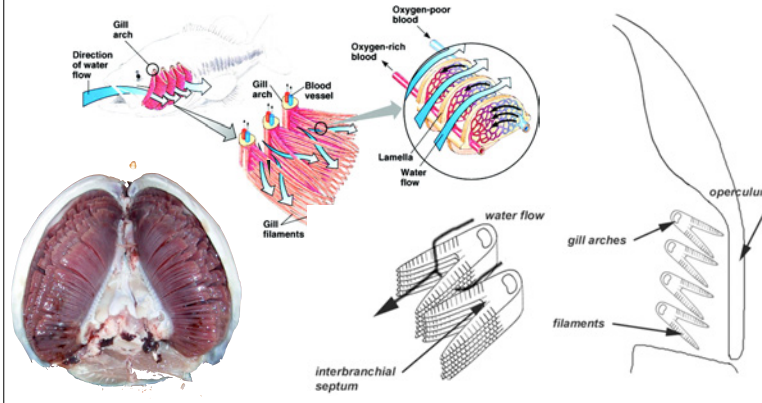
Brânquias septadas: Chondrichthyes

Filamentos hemibranquiais suportados por septos interbranquiais (tecido conjuntivo), base do arco branquial situada interno (medial) à hemibrânquia, câmaras grandes, água entra pela boca ou espiráculo, 5–7 fendas/câmaras branquiais.



Brânquias operculares: Osteichthyes

Opérculo (composto por 4 ossos fusionados) que protege a câmara branquial, septo interbranchial reduzido ou ausente, base dos arcos branquiais situada interna (medial) às hemibrânquias, 4 pares de holobrânquias



Brânquias externas: Actinopterygii, Dipnoi, Amphibia

Polypterus: 1 par, reabsorvidas durante a metamorfose

Heterotis, *Gymnarchus*: 4 pares, substituídas por brânquias internas

Dipnoi (*Lepidosiren*, *Protopterus*): 4 pares, substituídas por brânquias internas

Caudata e Gymnophiona: 3 pares, reabsorvidas antes de eclodir ou durante a metamorfose

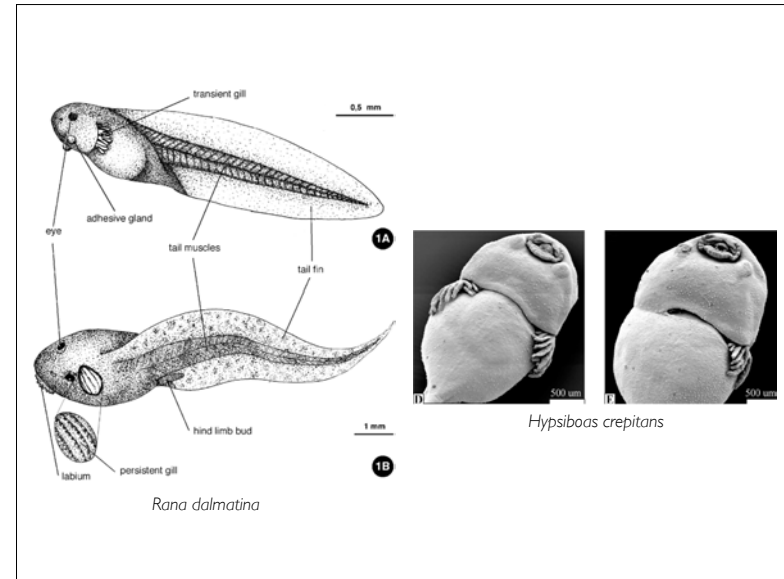
Anura: 2–4 pares, reabsorvidas pouco depois de eclodir, substituídas por brânquias persistentes



Polypterus weeksi



Ambystoma mexicanum



Mecanismos de Ventilação das Brânquias

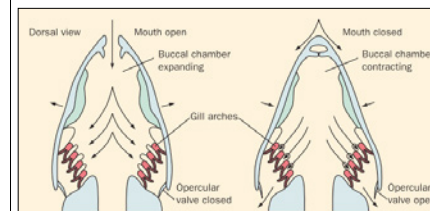
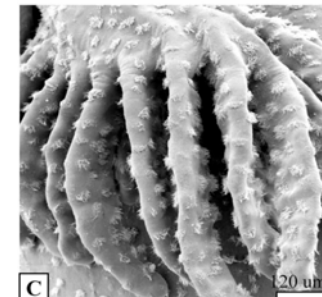
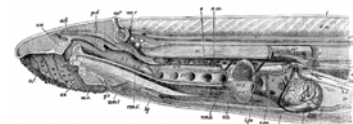
Balanço (brânquias externas)

Cílios

Ventilação forçada ("ram ventilation")

Bomba bucal

Compressão das câmaras branquiais



Phyllomedusa azurea (Anura, Hylidae)

video: A. Sebben, UnB

Principais Órgãos Respiratórios

3. Pulmão

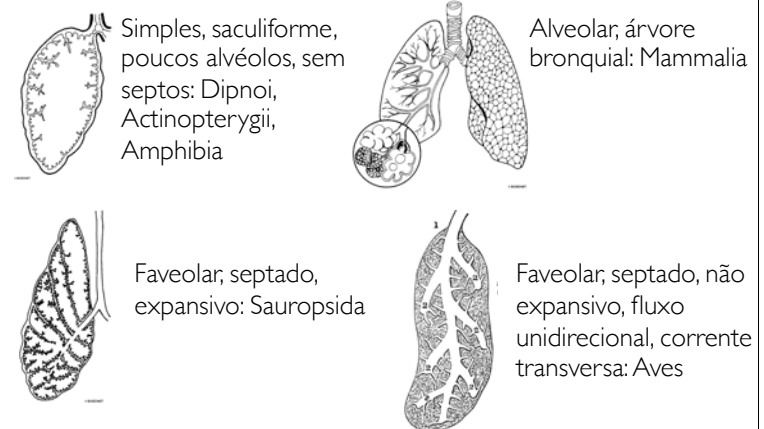
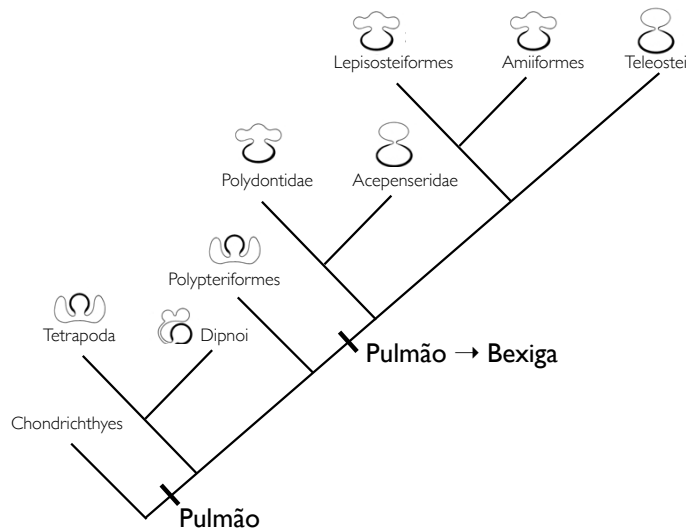
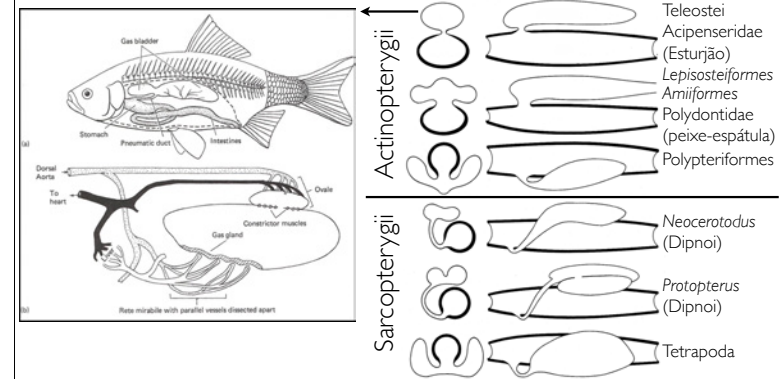
Pulmão ↔ Bexiga Natatória

Bexiga: conexão dorsal | Pulmão: conexão ventral

Homologia: Endodérmico, evaginação do tubo digestivo, derivados da faringe posterior; homologia das artérias “pulmonares” (Longo et al. 2013), co-expressão do mesmo conjunto de genes (Cass et al. 2013); porém... falta de evidência embriológica de migração.

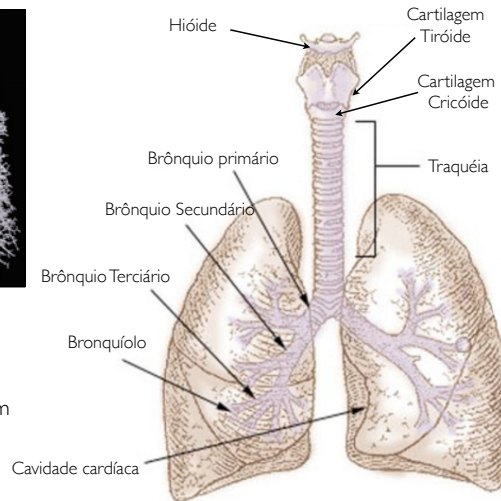
Pulmão ↔ Bexiga Natatória

Bexiga: conexão dorsal | Pulmão: conexão ventral

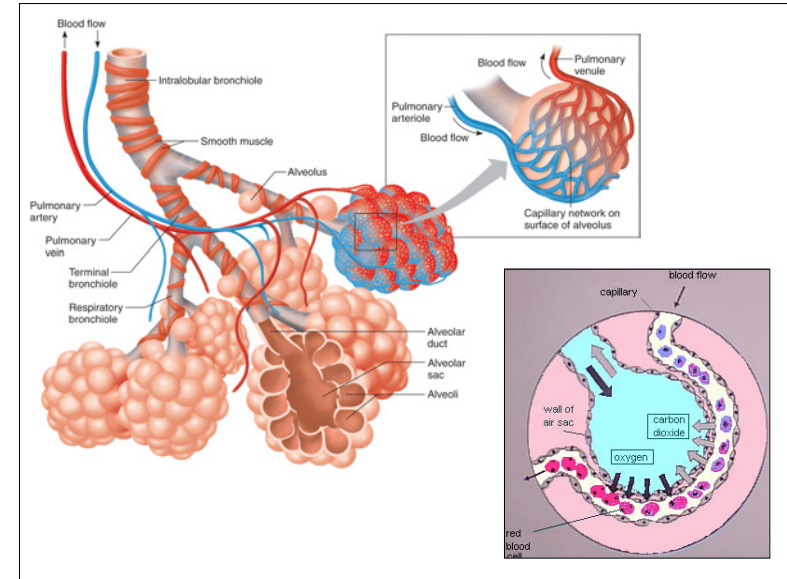


Mammalia

Pulmão alveolar; formando árvore bronquial

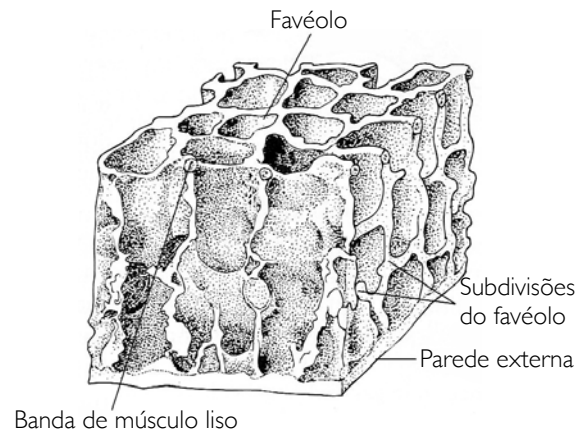
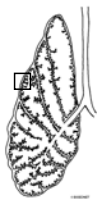


Brônquios: cartilagosos
Bronquíolos: sem cartilagem



Sauropsida

Pulmão faveolar (cf. favo de mel), septado, expansivo, fluxo bidirecional

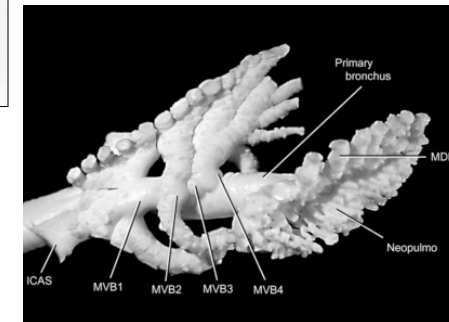


Aves

Pulmão faveolar; septado, rígido, fluxo unidirecional, intercâmbio de corrente transversa



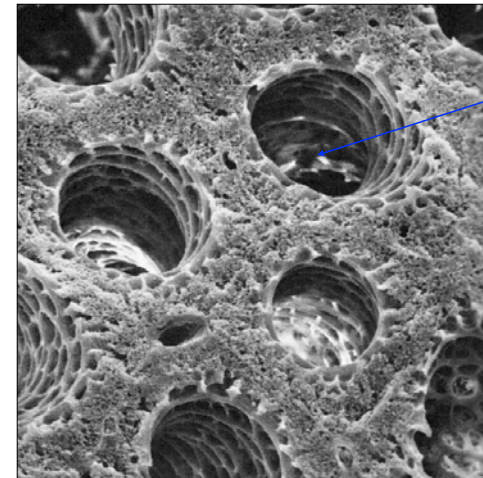
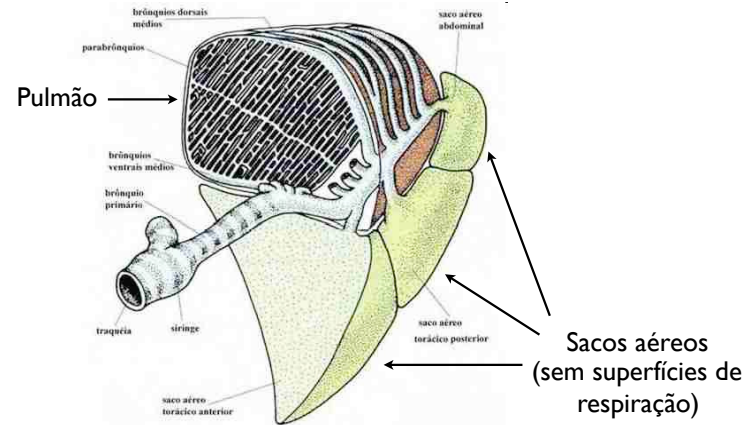
Struthio camelus. Maina & Nathaniel 2001



Columba livia. Perry & Sanders 2004

Aves

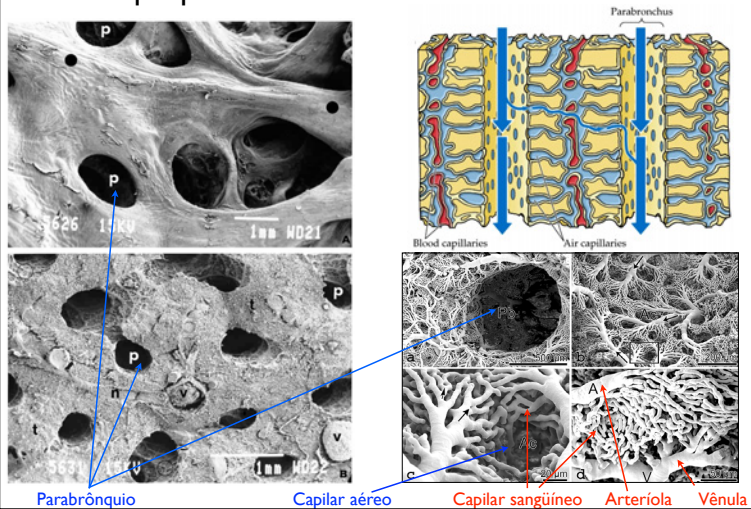
Pulmão faveolar, septado, rígido, fluxo unidirecional, intercâmbio de corrente transversa



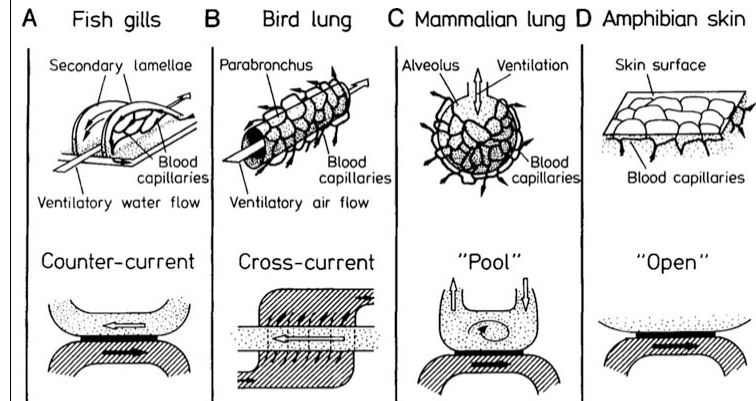
Parabônquio

Johansen, 1977

Área de superfície para intercâmbio >10X maior que pulmão alveolar do mesmo tamanho



Resumo de Mecanismos de Respiração



Mecanismos de Ventilação dos Pulmões

1. Bomba bucal (bomba bucofaringeal)
2. Bomba de expiração
3. Bomba de aspiração

Bomba Bucal

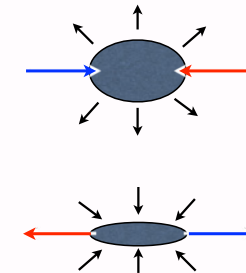
Ventilação de pulmões efetuada por movimentos bucofaringeos

inspiração: pressão positiva
expiração: pressão negativa

Pulmão | Boca | Exterior

Dois passos

1. Boca abre, puxa ar velho dos pulmões e ar novo do exterior
2. Boca abre, empurra ar novo para pulmões e ar velho para exterior



Dipnoi, maioria dos anuros e salamandras

Ambystoma tigrinum: 80% novo, apenas 20% velho

Bomba Bucal

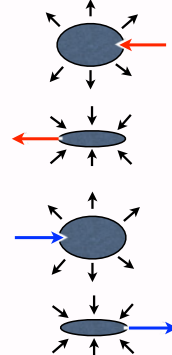
Ventilação de pulmões efetuada por movimentos bucofaringeos

inspiração: pressão positiva
expiração: pressão negativa

Pulmão | Boca | Exterior

Quatro passos

1. Cavidade bucal expande, puxa ar novo do exterior
2. Cavidade bucal comprime, empurra ar novo para pulmões
3. Cavidade bucal expande, puxa ar velho dos pulmões
4. Cavidade bucal comprime, empurra ar velho para exterior



Alguns anuros e salamandras, peixes actinoptérígios “basais”

Bomba de Expiração

Ventilação de pulmões efetuada por movimentos torácicos

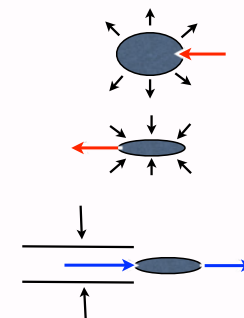
inspiração: pressão positiva
expiração: pressão positiva

Pulmão | Boca | Exterior

Inspiração: bomba bucal

Expiração: contração de músculos axiais reduz o volume da cavidade torácica, aumenta pressão interna nos pulmões

Tetrapoda



Bomba de Aspiração

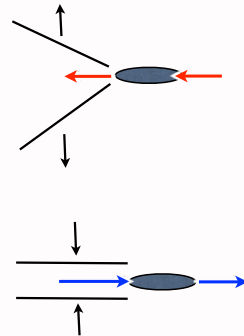
Ventilação de pulmões efetuada por movimentos torácicos

inspiração: pressão negativa
expiração: pressão positiva

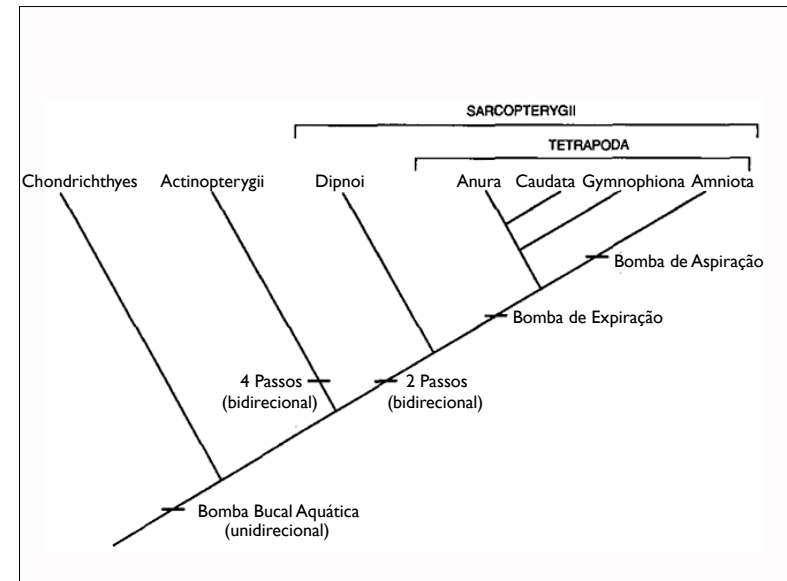
Inalação: A pressão interna nos pulmões é reduzida a um nível menor que a pressão atmosférica, o ar entra por sucção.

Exalação: Contração de músculos axiais reduz o volume da cavidade torácica, aumenta pressão interna nos pulmões

Pulmão | Boca | Exterior



Amniota

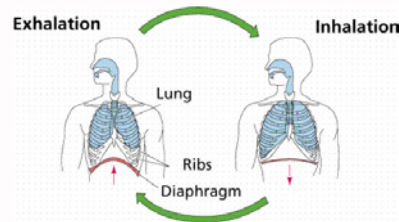


Mammalia

Cavidade visceral dividida por diafragma musculoso anterior ao fígado

Inspiração: contração do *m. diaphragmaticus* reduz a curvatura do domo, expande cavidade torácica. Rotação de costelas (contração de intercostais externos) contribui pouco.

Expiração: Normalmente passivo. Expiração forçada causada por músculos abdominais e intercostais internos.



Ineficiência do fluxo bidirecional
Intercâmbio concorrente

Mistura ar novo com ar velho

Têm um "espaço morto" (laringe, traquéia, brônquios)

Homo sapiens: 30% do volume de uma respiração normal fica no espaço morto!

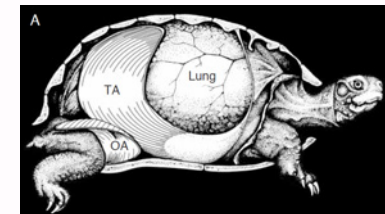
Testudines

A formação da carapaça torna impossível a expansão da caixa torácica
Mudança de pressão pulmonar efetuada pelo deslocamento das vísceras

Pulmões juxta-postos à carapaça, ligados ventralmente às vísceras por lâmina de tecido conjuntivo (= "diafragma")

Inspiração: Contração do *m. obliquus abdominus* aumenta o volume da cavidade peritoneal

Expiração: Contração do *m. transversus abdominus* levanta as vísceras e reduz o volume da cavidade peritoneal, auxiliada pelo peso das vísceras + diafragma



Archosauria: Crocodylia

Pistão Hepático

Cavidade visceral dividida por diafragma de tecido conjuntivo anterior ao fígado, liga pulmão e fígado

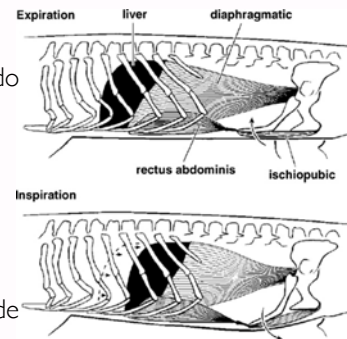
Músculos diafragmáticos ligados ao fígado

Contração do *m. diaphragmaticus*

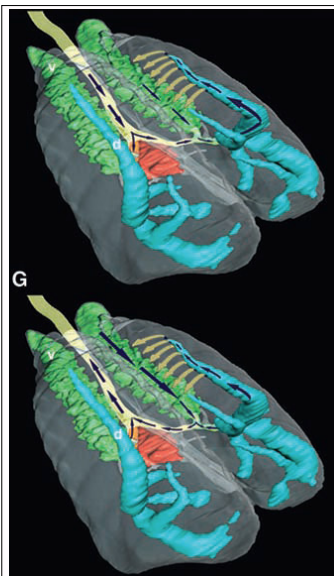
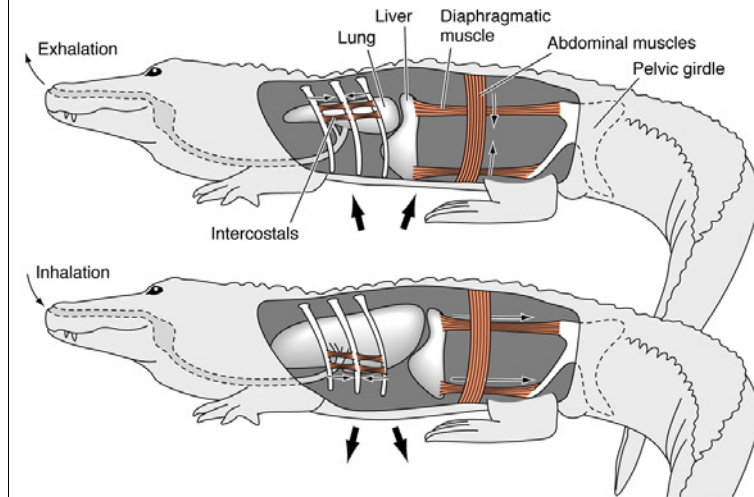
Rotação dos ossos púbicos expande cavidade torácica

Rotação de costelas expande cavidade torácica

Unidirecional



Archosauria: Crocodylia



Fluxo Unidirecional de Ar

Resulta da topografia dos brônquios intra-pulmonares, sem sacos aéreos/pneumatização

Muito mais eficiente que fluxo bidirecional

Também presente em aves e pterossauros

Fluxo unidirecional evoluiu há 250 Ma

O₂ Triássico = 12%

O₂ atual = 21%

Farmer & Sanders, 2010

Archosauria: Aves

Pulmões rígidos

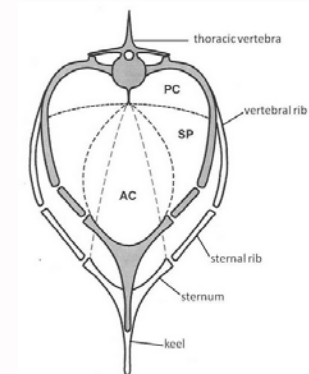
Sacos aéreos (usualmente 9) anteriores e posteriores, sem troca de gases

Inspiração: Rotação anterior das costelas e depressão do esterno expandem o volume da caixa torácica

Expiração: Rotação posterior e elevação do esterno reduzem o volume da caixa torácica

Ventilação unidirecional

2 ciclos de inspiração/expiração



Pulmões rígidos

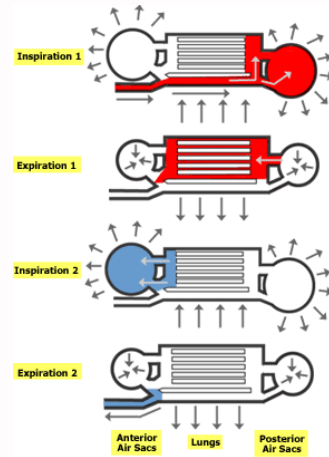
Sacos aéreos (usualmente 9)
anteriores e posteriores, sem
troca de gases

Inspiração: Rotação anterior das
costelas e depressão do esterno
expandem o volume da caixa
torácica

Expiração: Rotação posterior e
elevação do esterno reduzem o
volume da caixa torácica

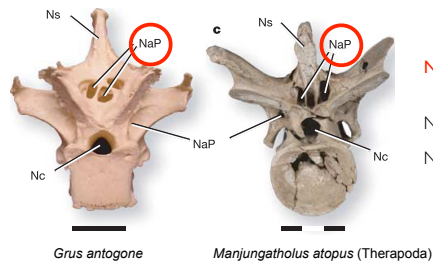
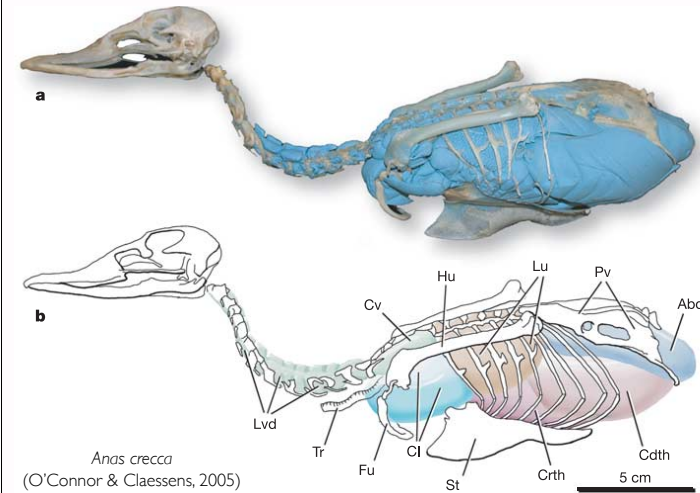
Ventilação unidirecional

2 ciclos de inspiração/expiração



Pneumatização dos Ossos

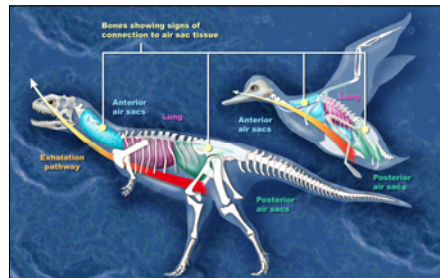
coluna vertebral, costelas, úmero, esterno, sinsacro



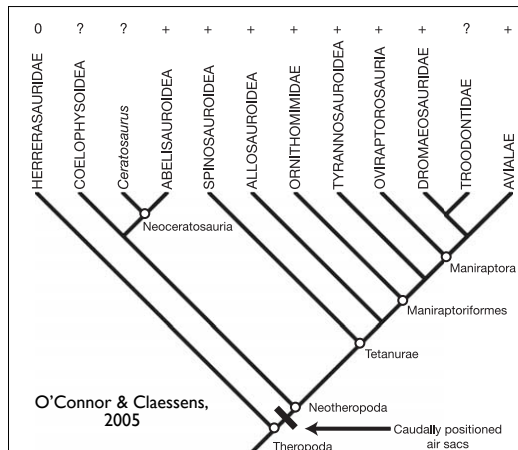
NaP: Forame pneumático
do arco neural

Nc: Canal neural

Ns: Espinho neural



O'Connor & Claessens,
2005



Quais as possíveis
funções iniciais?

Termorregulação?

Distribuição de peso/
bipedalismo?

Atmosfera rarefeita?

Sacos aéreos evoluíram independentemente nos pterossauros
também! (Claessens et al. 2009)

RESUMO

Sistema respiratório + circulatório

Toda a troca é por difusão

SR: Troca entre superfície do organismo e ambiente

SC: Transporte entre superfície e células profundas

Princípios do sistema respiratório

3 significados de respiração

2 tipos de respiração (no nosso sentido)

Ventilação

Perfusão

Principais órgãos respiratórios

Tegumento

Brânquias (bolsas branquiais, brânquias septadas, operculares, externas)

Pulmões (simples, alveolar, faveolar)

Mecanismos de ventilação

Tegumento

Brânquias

Pulmões