



Seminario

Il Rischio da Atmosfere Iperbariche



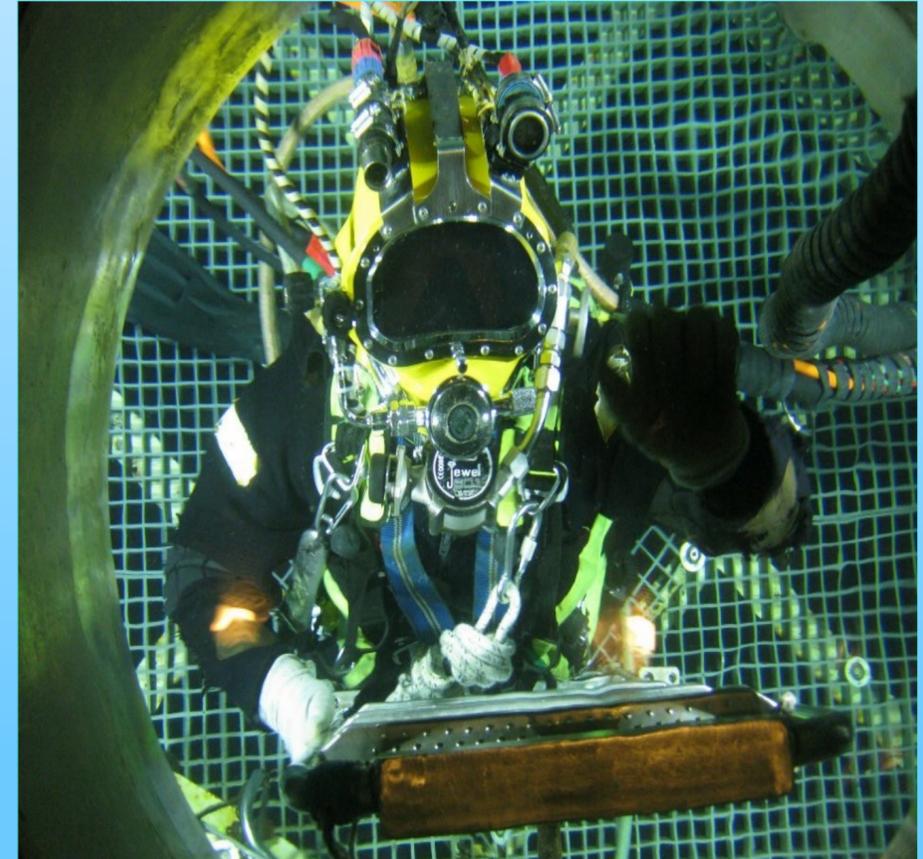
MD COSTANZO C.* MD VALENTE G.**

*** Responsabile Iperbarico HWS**

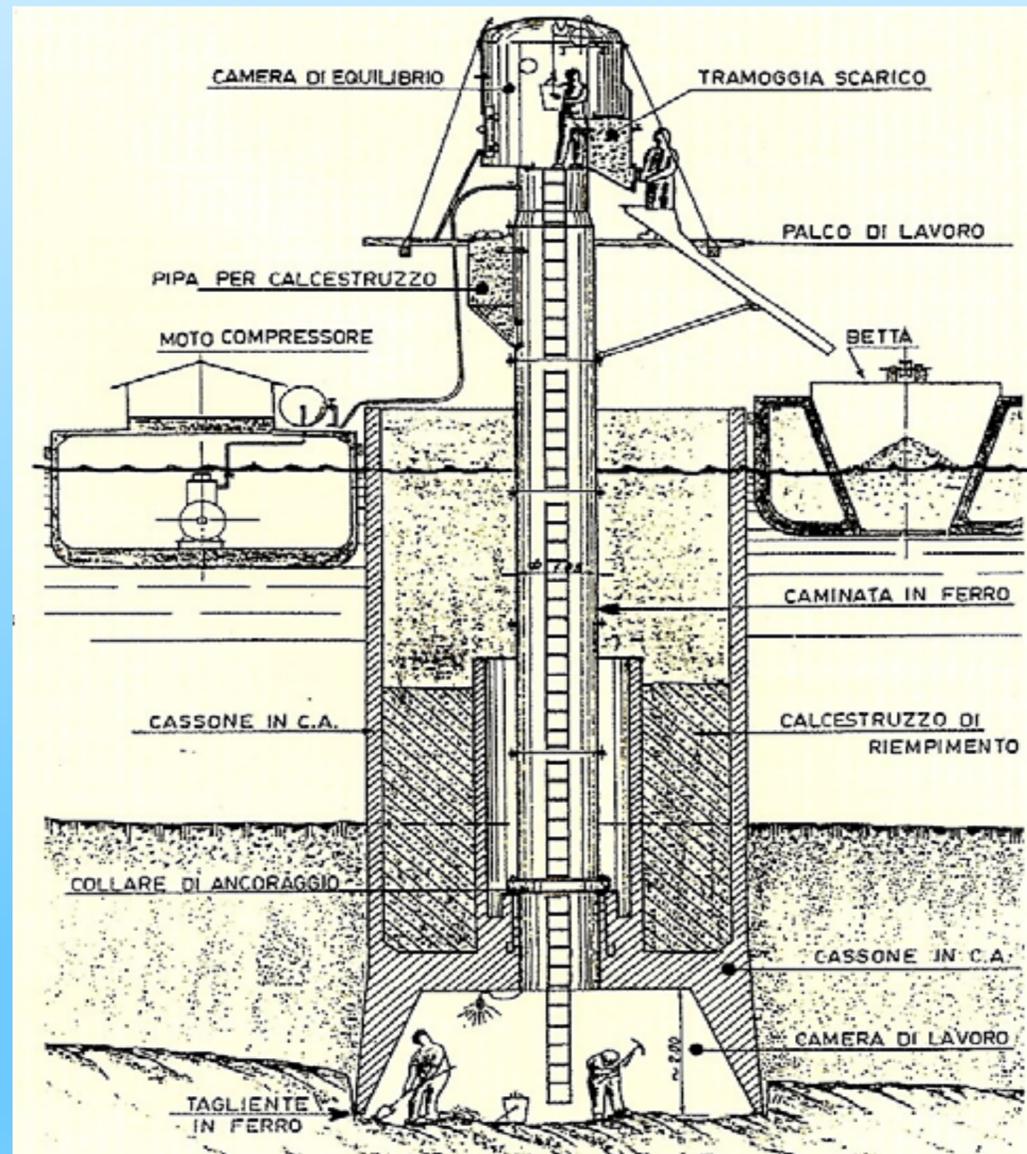
**** Responsabile Medico CIR**

07 FEBBRAIO 2023 - Polo Formativo SAFE –

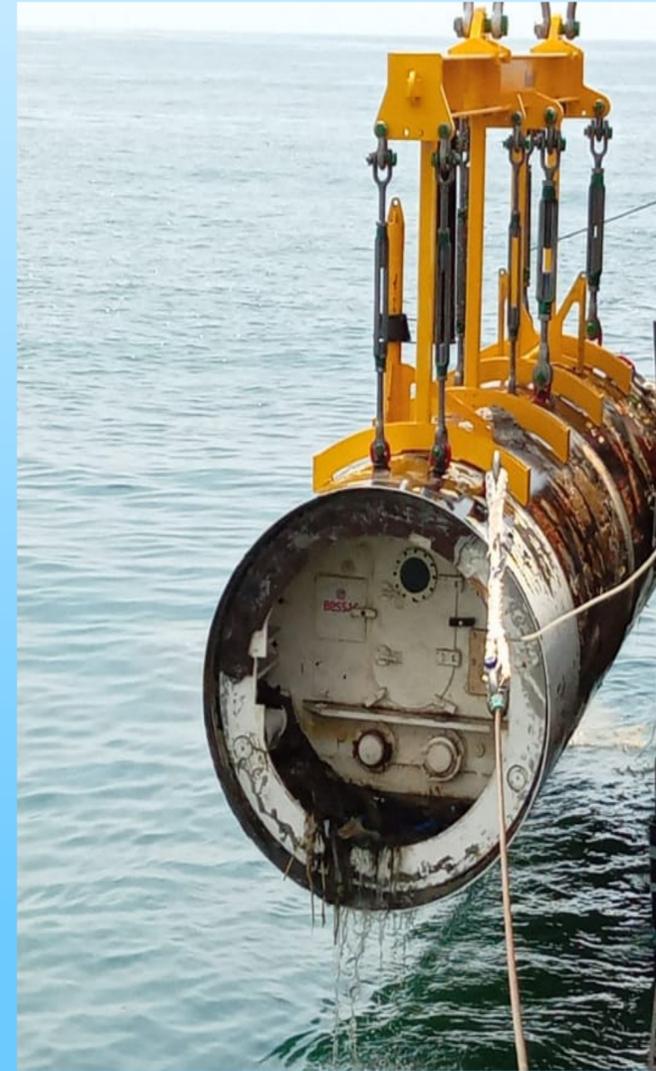
LAVORO IN ATMOSFERE IPERBARICHE IN UMIDO



LAVORO IN ATMOSFERE IPERBARICHE A SECCO



LAVORO IN ATMOSFERE IPERBARICHE SECCO E UMIDO

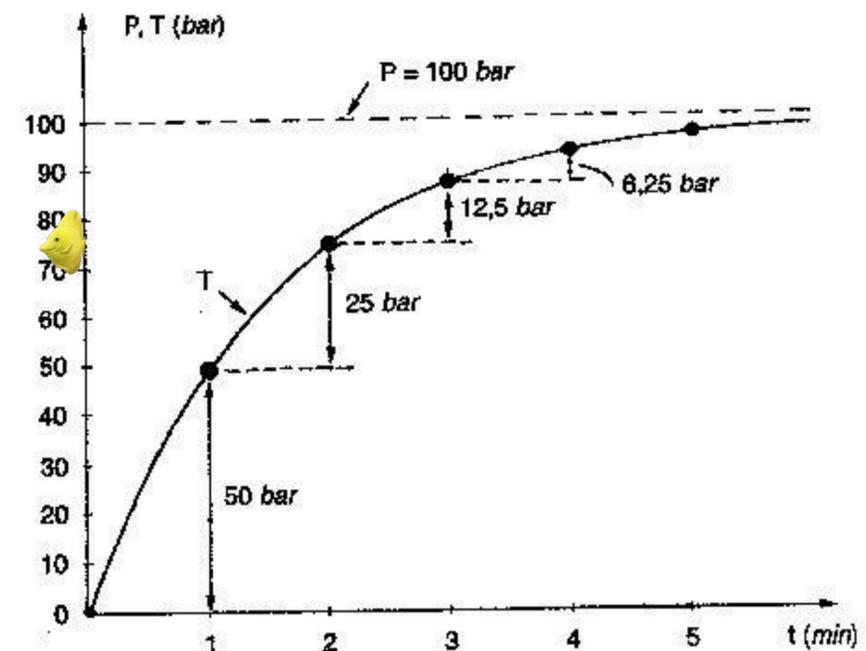


Haldane

L'assunzione e l'eliminazione del gas inerte avviene in maniera esponenziale utilizzando i semiperiodi di saturazione dei tessuti

Curva di assorbimento di un gas secondo la legge di Henry.

L'andamento è esponenziale



PATOLOGIA DA DECOMPRESSIONE «PDD»

- **Il lavoro in Atmosfere Iperbariche provoca un eccesso di assorbimento del gas inerte, attraverso la respirazione, nei compartimenti del nostro corpo.**
- **L'eliminazione dell'inerte, durante e dopo la fase di risalita, può innescare la formazione e la crescita delle bolle.**



PATOLOGIA DA DECOMPRESSIONE

Gli effetti che possono derivare dalla bolla o dall'interazione bolla/sangue possono causare:

- **Riduzione o arresto della circolazione sanguigna**
- **Distensione o rottura di tessuto**
- **Attivazione dei meccanismi del sistema di coagulazione del sangue e dello stress Ossidativo**

PATOLOGIA DA DECOMPRESSIONE

- **Le bolle generano segni e sintomi diversi in funzione della loro localizzazione nei compartimenti del corpo.**
- **I sintomi possono manifestarsi in modo precoce o tardiva, pertanto esiste una correlazione fra il tempo di comparsa e la gravità della PDD.**

PATOLOGIA DA DECOMPRESSIONE

I fattori che incrementano l'innesco della formazione delle bolle sono:

Eccesso di gas Inerte

(profondità/tempo di permanenza)

Omessa decompressione

Fuori curva di sicurezza

Velocità di risalita non corretta

Escursione in quota

Fattori predisponenti individuali

PATOLOGIA DA DECOMPRESSIONE

È una Sindrome multi-sistemica ad insorgenza acuta con sintomatologia variabile caratterizzata da:

- **Lievi disturbi cutanei e linfatici**
- **Alterazioni neurologiche fino a perdita di coscienza, coma e morte**

PATOLOGIA DA DECOMPRESSIONE

Classificazione Golding ET AL. 1960

DECOMPRESSION SICKNESS (DCS I Minor)

Apparato muscolo-scheletrico

Apparato cutaneo

Apparato linfatico

DECOMPRESSION SICKNESS (DCS II Major)

Sistema Nervoso

Cardio-respiratorio (Chokes)

Audio-vestibolare

Shock

EGA

BAROTRAUMI

Polmonare

Seni frontale e paranasali

Dentale

Orecchio Medio

Orecchio Interno

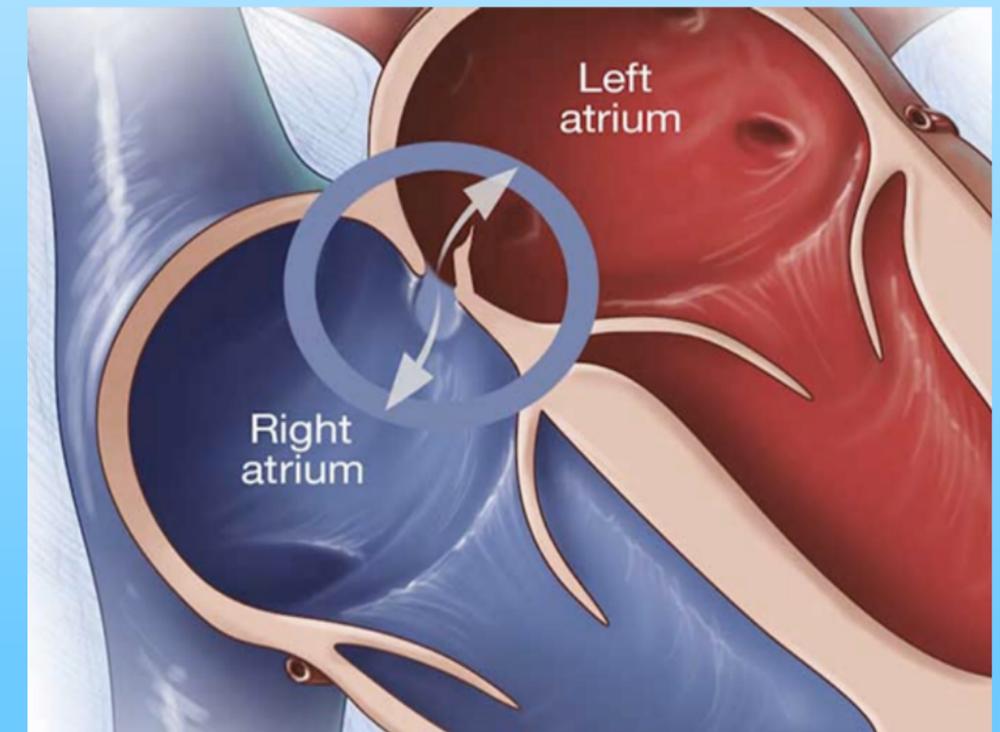
Gastrointestinale

DECOMPRESSION SICKNESS (DCS I Minor)



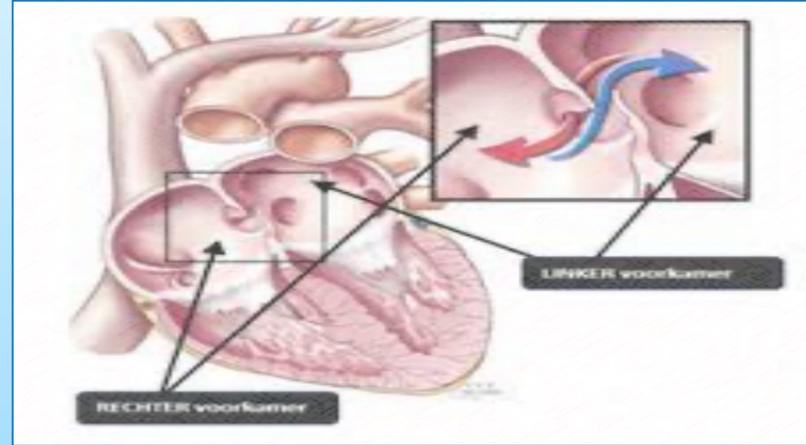
PATOLOGIA DA DECOMPRESSIONE: FORAME OVALE PERVIO

Il Forame Ovale Pervio «FOP» è la persistenza di un piccolo passaggio interatriale che mette in comunicazione i due atri del cuore, presente già prima della nascita e che dovrebbe chiudersi normalmente dopo, interessa circa un quarto della popolazione.



FORAME OVALE PERVIO «FOP»

Completo



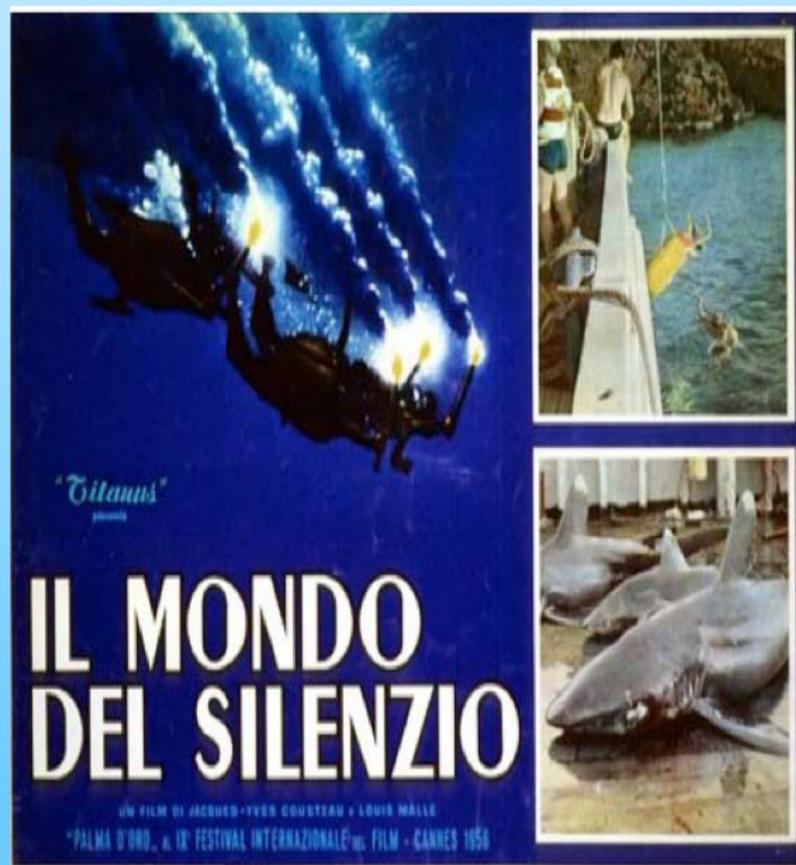
- **É lo shunt destro-sinistro spontaneo, potrebbe causare un'Embolia Paradosa, dovuta ad un coagulo (trombo) causando un ictus o da emboli gassosi che possono causare una PDD, sia neurologica che cutanea.**

Incompleto

- **Può essere patologico quando la pressione dell'atrio destro supera quella dell'atrio sinistro con inversione del flusso da destra verso sinistra; può avvenire per sollevamento pesi, dopo un colpo di tosse, nella defecazione e durante la manovra di Valsalva.**

NARCOSI D'AZOTO

DEFINIZIONE



Cousteau, nel suo Mondo del Silenzio, la chiama Ebbrezza da alti fondali o effetto Martini per la sensazione, piacevole all'inizio, di uno stato di benessere, euforia e allegria

NARCOSI D'AZOTO

L'ebbrezza da alti fondali, detta anche Narcosi d'Azoto o Sindrome neuropsichica da aria compressa è una sintomatologia che si verifica nelle immersioni superiori a 30m con respirazione di una miscela di aria.

L'elevata pressione parziale di azoto può esercitare un effetto pseudo-anestetico simile a quello del protossido d'azoto.

Le cause, oltre alla profondità, sono legate ad una predisposizione individuale, al freddo, ad altri stati di malessere o patologie in corso, a scarso allenamento ed a eccessiva velocità di discesa.



NARCOSI D'AZOTO

Segni e Sintomi

Variano a seconda della profondità

A -30 m. $PpN_2 = 79\% \times 4.0 \text{ ATM} = 3.1 \text{ atm}$

- Euforia, Facilità al riso, loquacità
- Alterata capacità di giudizio “Overconfidence”
- Ritardata risposta a stimoli sensitivi compresi i comandi verbali, recepiti ma non eseguiti
- Rallentamento del pensiero, tendenza a idee fisse,
- Deconcentrazione, difficoltà a prendere rapide decisioni
- Errata esecuzione dei test psicometrici, es. calcoli matematici

Tra -30 m. e -91 metri

- Sonnolenza
- Stato confusionale, tale da ridurre nettamente la capacità lavorativa del soggetto
- Perdita di accuratezza nell'esecuzione di movimenti fini
- Disturbi vertiginosi con ondeggiamento corporeo
- Deficit di forza generalizzato



NARCOSI D'AZOTO

Segni e Sintomi

A -91 metri limite oltre il quale si può avere

- **Perdita di coscienza, stato di vera e propria “Anestesia”**

Nel corso di immersioni sperimentali a 122 metri

- **Disturbi di tipo psichedelico, tipo riverberazioni della voce, sensazioni visive e acustiche ad impronta allucinatoria**
- **Sensazioni di lievitazione**
- **Disorientamento tempero-spaziale**
- **Contenuti ideativi maniaco depressivo**

BAROTRAUMA

Danno tessutale determinato dall'intrappolamento di gas presente in una cavità del corpo determinato dal cambiamento correlato alla pressione dei gas.

BAROTRAUMA

- **Durante la risalita, l'espansione dei gas interessa i polmoni e il tratto gastrointestinale**
- **Durante la discesa, la compressione dei gas interessa le Orecchie, i Seni Paranasali, gli spazi vuoti nelle otturazioni Dentali e lo spazio contenuto nella Maschera da sub.**
- **Le manifestazioni dipendono dalla zona interessata; si presentano quasi immediatamente al variare della modificazione della pressione.**
- **I sintomi possono comprendere otalgia, vertigini, ipoacusia, dolori ai seni, epistassi e dolore addominale. La dispnea e l'alterazione o la perdita di coscienza possono essere potenzialmente letali e possono essere correlate a rottura alveolare e [pneumotorace](#).**

PROBLEMI LEGATI AI GAS INTRAPPOLATI

Ogni gas intrappolato in una cavità corporea si espanderà o si contrarrà in accordo alla Legge di

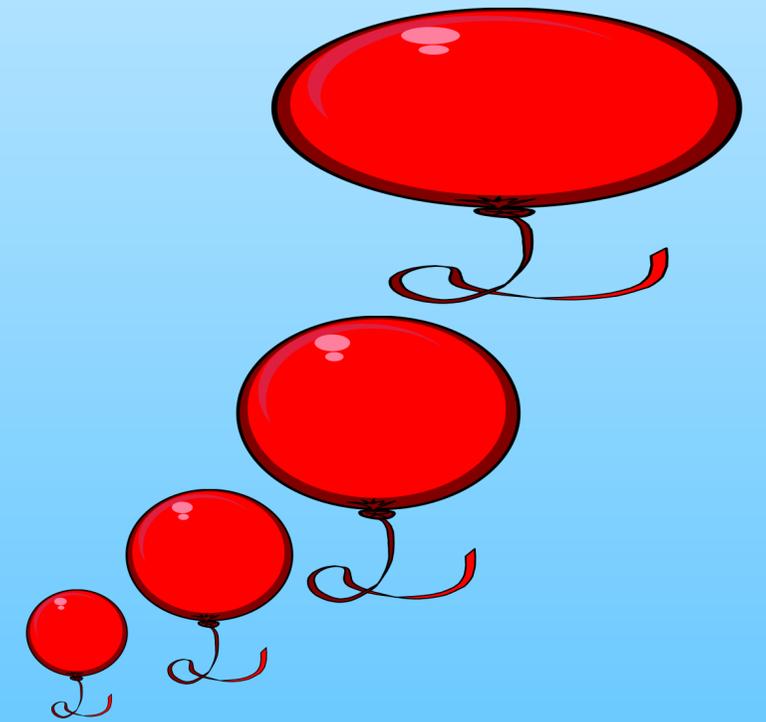
BOYLE

LEGGE DI BOYLE

Pressione e Volume sono inversamente correlati a
Temperatura costante

$$PV=K$$

Conseguenze fisiologiche



Barotrauma

Livello del mare

BAROTRAUMA POLMONARE

- **Enfisema mediastinico/sottocutaneo**
- **Pneumotorace**
- **Embolia gassosa arteriosa**

EMBOLIA GASSOSA ARTERIOSA «EGA»

- **É la complicazione più grave della sovradistensione polmonare**
- **Insorge rapidamente e con sintomatologia molto grave**
- **Le cause scatenanti sono rappresentate da:**
 - Velocità di risalita rapida**
 - Trattenere il respiro**
 - Problematiche o alterazioni polmonari (Asma, Enfisema, Intrappolamento di aria)**

EMBOLIA GASSOSA ARTERIOSA

Rottura del parenchima polmonare

Il Gas passa nella circolazione Arteriosa



Può fermarsi nelle arterie



Blocca la circolazione cerebrale



Ipossia – Anossia - Ischemia



Coma

BAROTRAUMI

Orecchio

Seni Paranasali

Denti

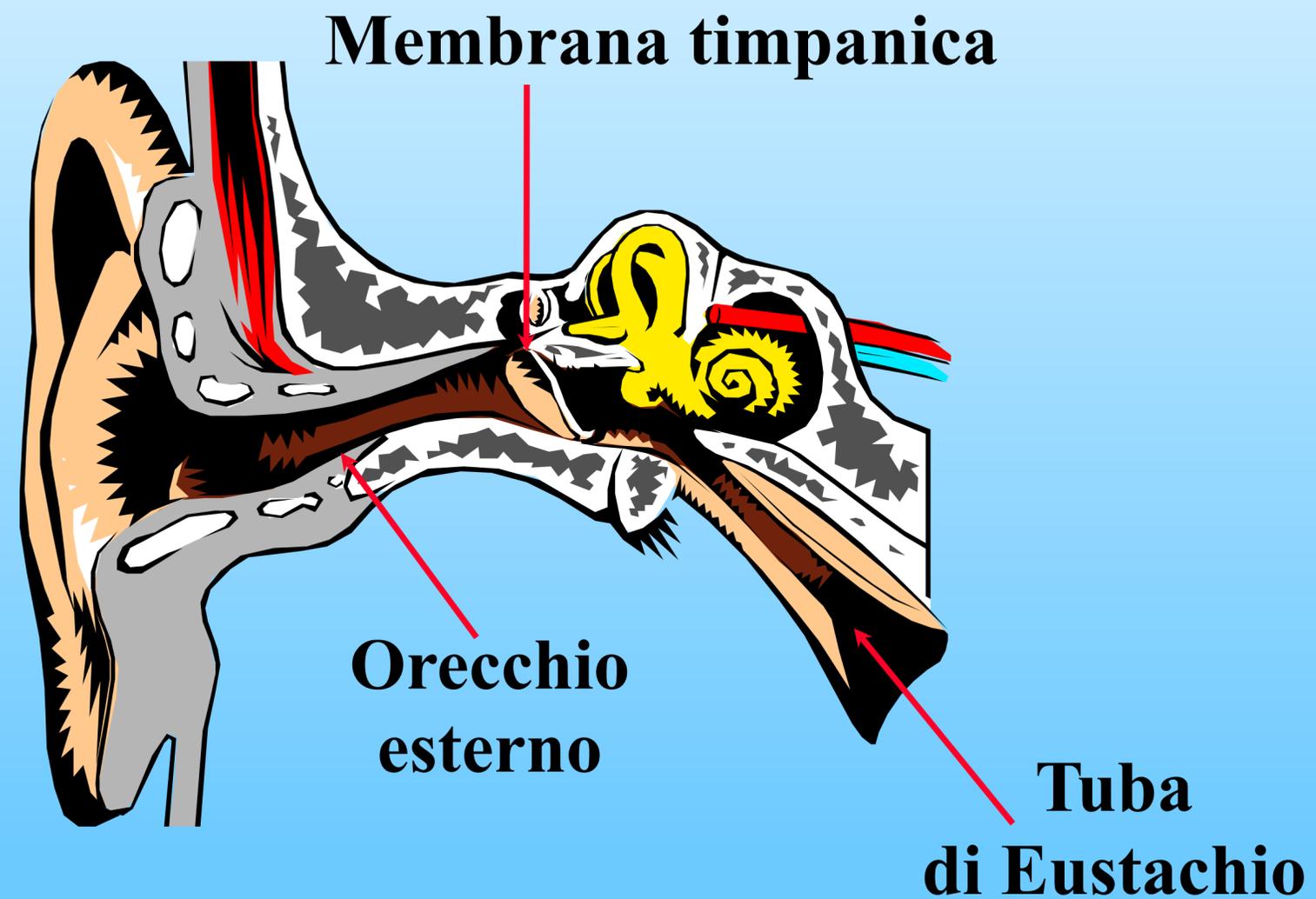
Colpo di Ventosa della Maschera

Schiacciamento Muta

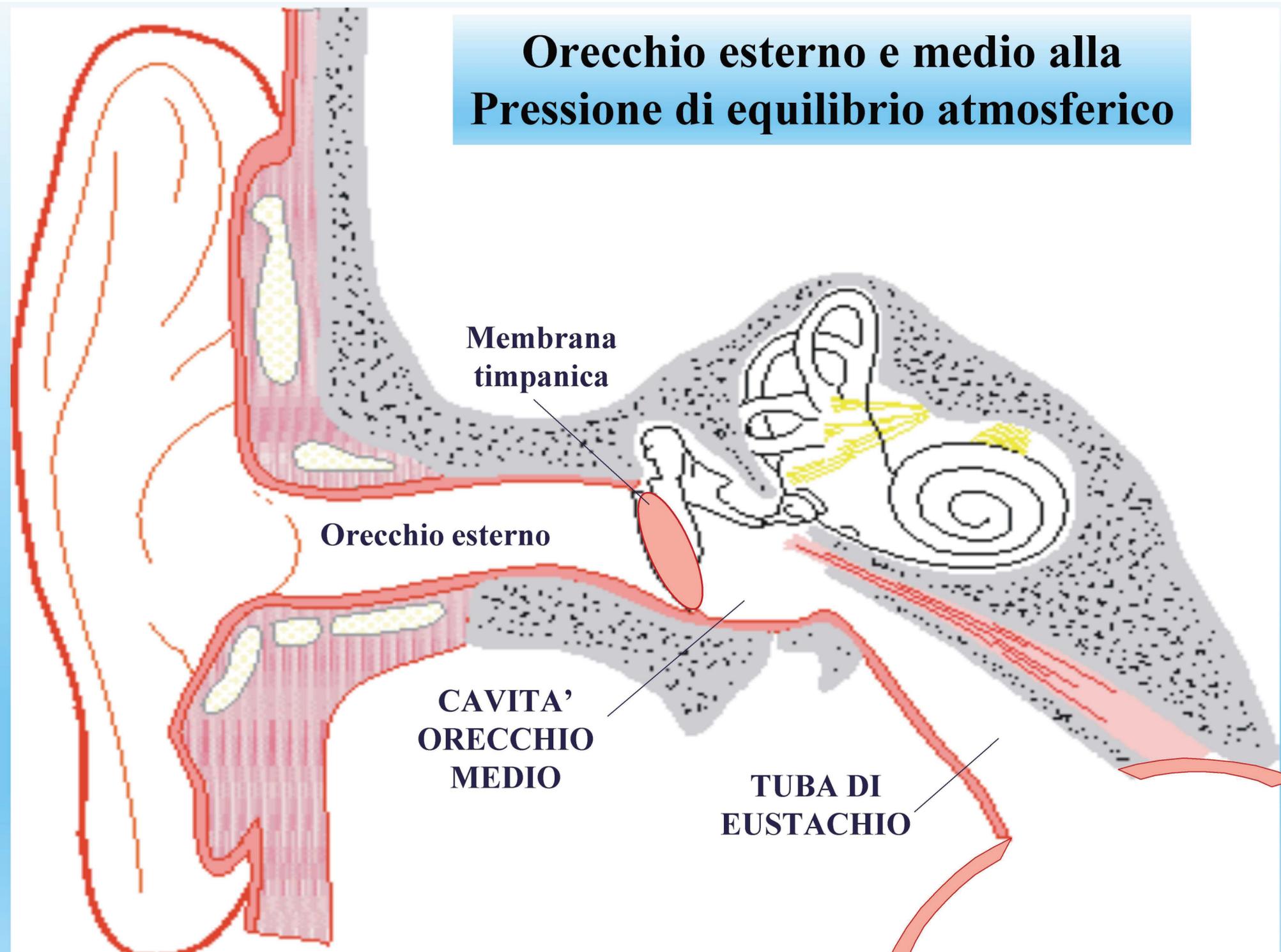
Sovradistensione Polmonare-Gastrointestinale

Vertigine Alternobarica

ORECCHIO



Orecchio esterno e medio alla Pressione di equilibrio atmosferico



Orecchio esterno e medio
discesa con Tuba di Eustachio
occlusa

Membrana
timpanica

Orecchio esterno

CAVITA'
ORECCHIO
MEDIO

TUBA DI
EUSTACHIO

Orecchio esterno e medio
discesa con Tuba di Eustachio
occlusa usando la Manovra

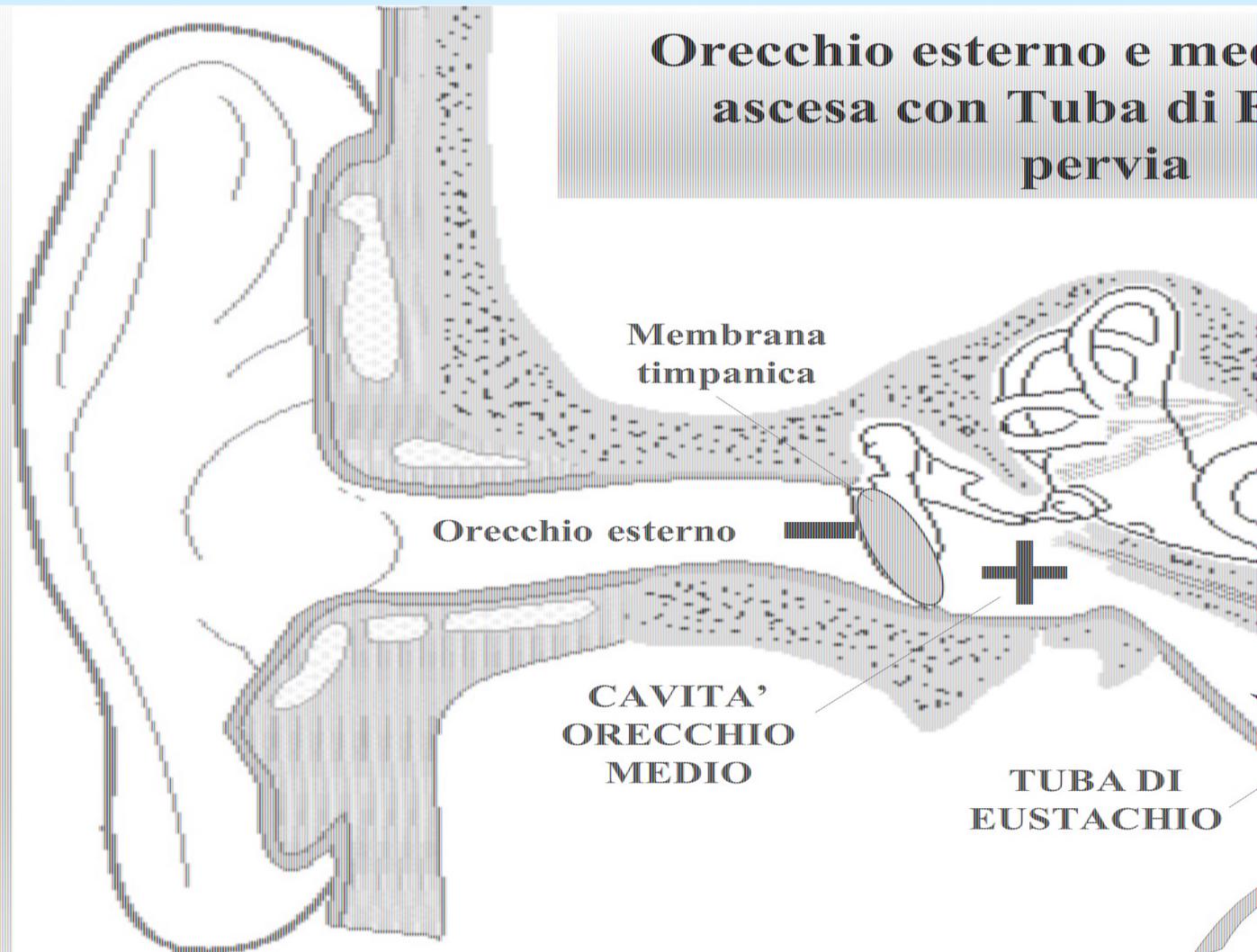
Membrana
timpanica

Orecchio esterno

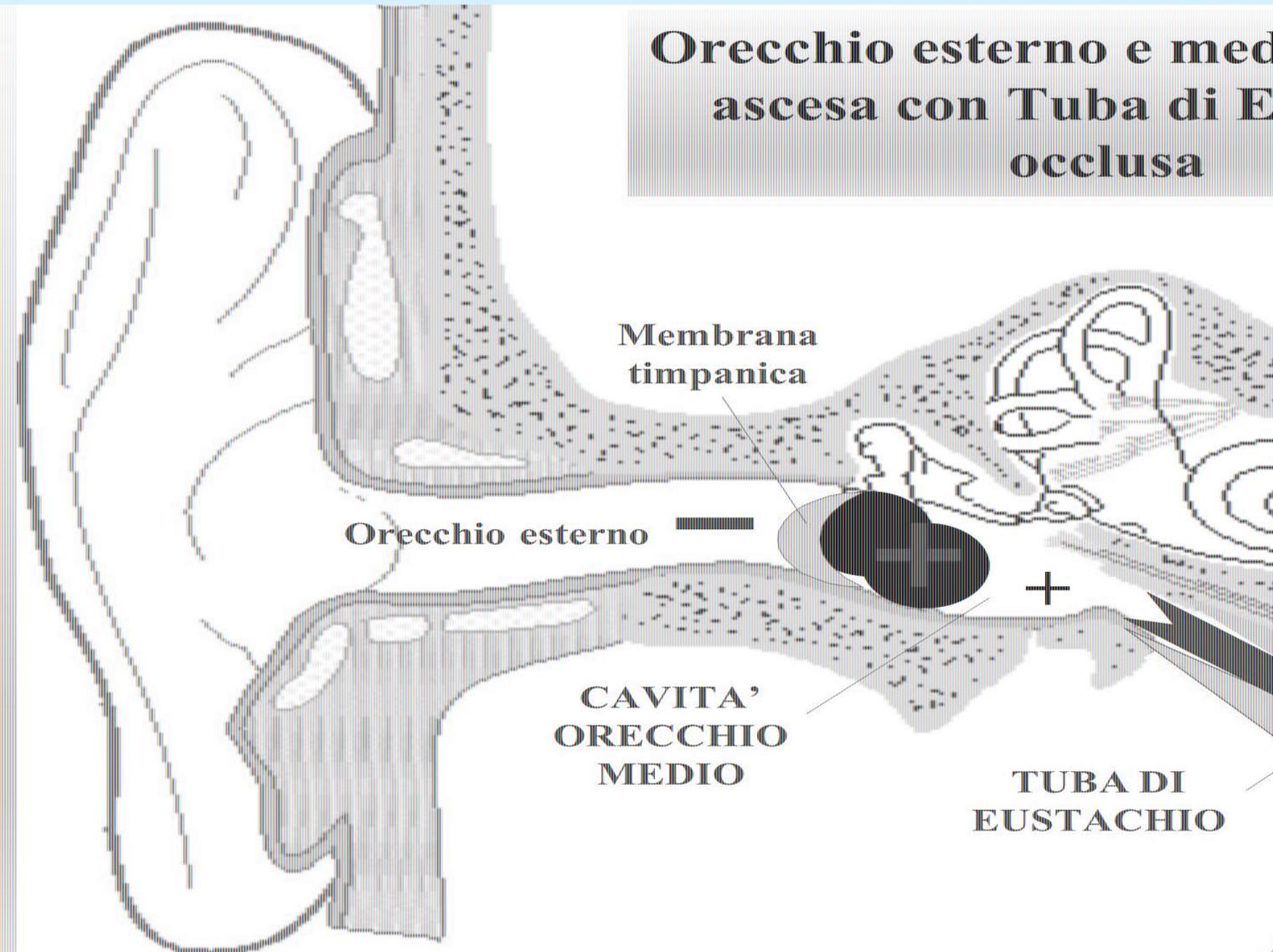
CAVITA'
ORECCHIO
MEDIO

TUBA DI
EUSTACHIO

**Orecchio esterno e medio
ascesa con Tuba di E
pervia**



**Orecchio esterno e medio
ascesa con Tuba di E
occlusa**



BAROTRAUMI

Orecchio: Segni e Sintomi

- L'immersione può lesionare l'orecchio esterno, quello medio e quello interno.
- I subacquei, generalmente, lamentano senso di pienezza dell'orecchio e dolore durante la discesa; se la pressione non è rapidamente equilibrata, si può verificare emorragia dell'orecchio medio o rottura della membrana timpanica.
- L'ingresso di acqua fredda, nell'orecchio medio può provocare vertigini, nausea, disorientamento.
- Esaminando il canale uditivo, la membrana timpanica può mostrare congestione, emotimpano, perforazione;
- È presente, solitamente, una perdita dell'udito trasmissiva.



NON IMMERGERSI CON SINTOMI INFLUENZALI

BAROTRAUMI

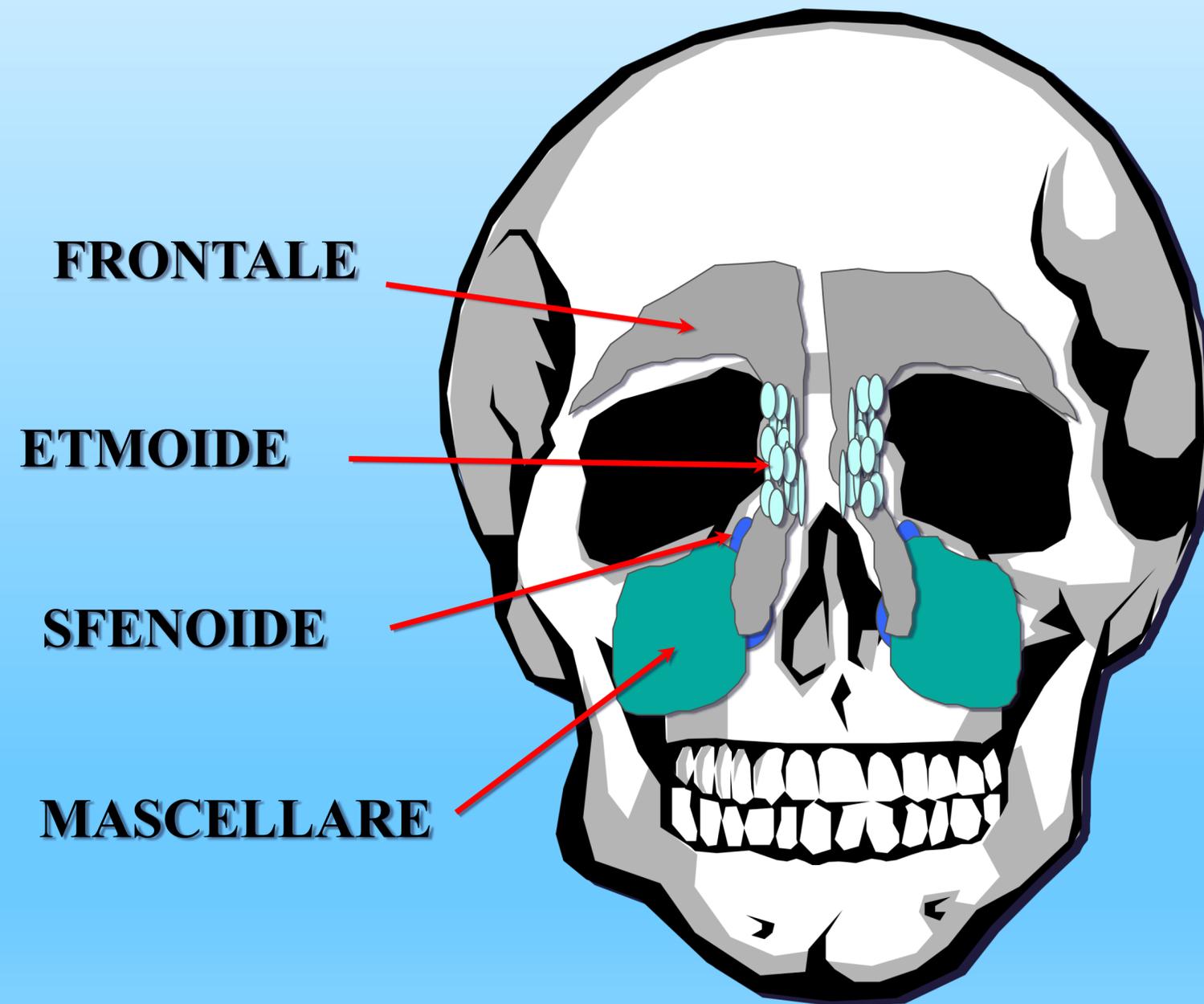
Colpo di Ventosa

Il barotrauma facciale si verifica quando la pressione nello spazio dietro la maschera non è equilibrata durante la discesa (es. espirando nella maschera).

Tale evento può provocare dolore locale, emorragia congiuntivale ed ecchimosi della pelle inclusa nella maschera, anche se rara è possibile un'emorragia retro-orbitale.

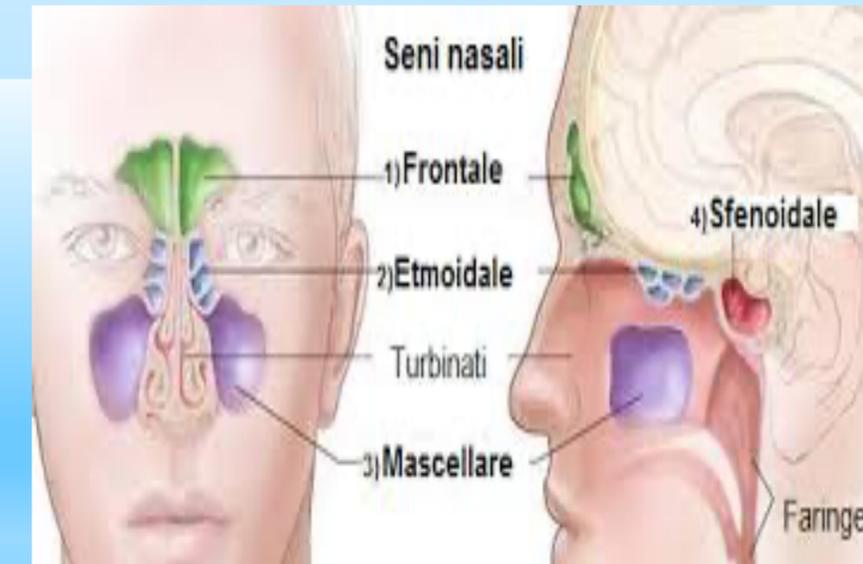


SENI PARANASALI



BAROTRAUMI: SENI PARANASALI

Il barotrauma dei seni paranasali interessa i seni frontali, etmoidale e i seni mascellari. I subacquei lamentano un lieve senso di pressione o addirittura un dolore opprimente, con una sensazione di congestione del seno interessato, durante la salita o la discesa, e talvolta epistassi.



Il seno può rompersi e causare pneumocefalo con dolore facciale o orale, nausea, vertigine o cefalea.

La rottura di un seno mascellare può causare una raccolta di aria retro-orbitale con diplopia dovuta a una disfunzione oculomotoria.

La compressione del nervo trigemino nel seno mascellare può causare parestesie facciali.

Il barotrauma sfenoidale può causare compressione e cecità del nervo ottico

BAROTRAUMA DEI SENI PARANASALI

- **Causa:** Congestione delle vie respiratorie superiori
di solito si manifesta in discesa
Possono verificarsi anche in ascesa
- **Sintomi:** Dolore severo e improvviso
può essere presente dolore a livello dell'arcata superiore

BAROTRAUMA

Sovradistensione Gastrointestinale

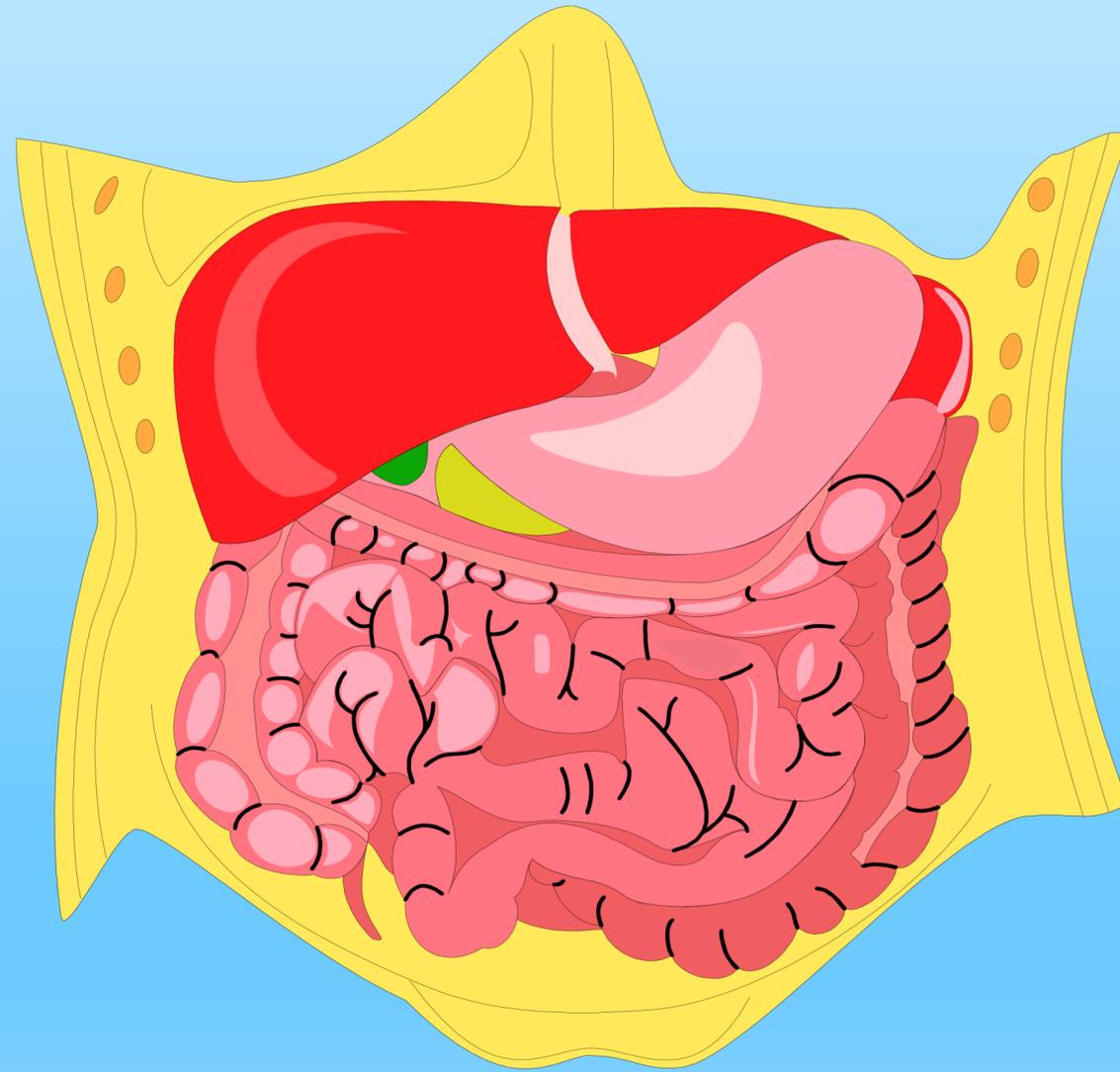
La respirazione impropria, mediante un erogatore o l'esecuzione di tecniche di compensazione errate tra orecchie e seni, possono far sì che il subacqueo deglutisca piccole quantità di aria durante l'immersione.

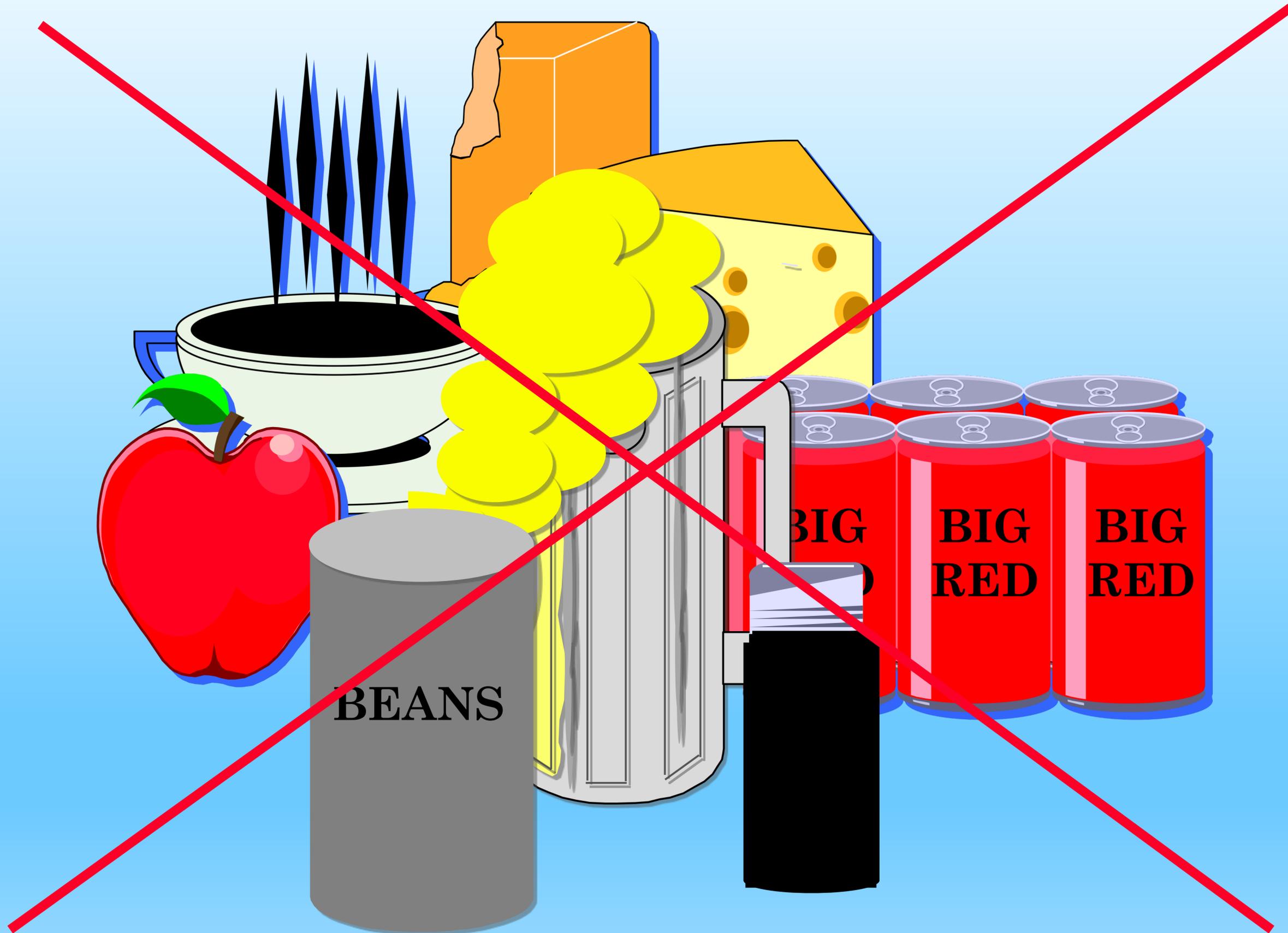
Questa aria si espande durante la risalita, causando senso di ripienezza addominale, crampi, dolore, eruttazioni e flatulenza.

La rottura gastrointestinale si verifica, raramente, manifestandosi con dolore addominale grave

Sintomi più lievi non richiedono particolari indagini.

TRATTO GASTROINTESTINALE





BAROTRAUMI DENTI

I barotraumi dentali possono verificarsi durante la discesa o la risalita, quando la pressione, negli spazi vuoti delle radici dei denti o in prossimità delle otturazioni, cambia rapidamente è causa dolore o danni ai denti.



RISCHI DA CAUSE CHIMICHE

TOSSICITÀ DELL'OSSIGENO

L'intossicazione da ossigeno, generalmente, si verifica quando la pressione parziale dell'ossigeno nell'aria respirata supera le 1,3-1,4 bar equivalenti a circa 57 m di profondità.

La tossicità può avvenire a pressioni minori, quando si utilizzano miscele di respirazione arricchite di ossigeno.

I sintomi comprendono parestesie, epilessia, vertigini, nausea, vomito e riduzione della vista (visione a tunnel).

Nei casi gravi si presenta con convulsioni generalizzate e sincope, che possono essere responsabile dell'annegamento.

RISCHI DA CAUSE CHIMICHE

Avvelenamento da diossido di carbonio/ Anidride carbonica "CO₂»

L'intossicazione CO₂ può essere causata da uno dei seguenti fattori:

- **Inadeguato sforzo respiratorio (ipoventilazione) a causa di un'elevata resistenza alla respirazione (malfunzionamento dell'erogatore, a muta stretta et ect)**
- **Sforzo fisico elevato**
- **Immersione profonda**
- **Contaminazione della fornitura di aria da gas esalati**

Le forme gravi da avvelenamento da CO₂ possono causare nausea, vomito, vertigini, cefalea, respiro accelerato, flushing, confusione, convulsioni e perdita di coscienza.

RISCHI DA CAUSE CHIMICHE

AVVELENAMENTO DA MONOSSIDO DI CARBONIO “CO”

Il CO può penetrare nell'apparato respiratorio del subacqueo se la bombola è "ricaricata" in un ambiente troppo vicino a scarichi di gas tossici o se l'olio lubrificante di un compressore difettoso diventa sufficientemente caldo da poter bruciare parzialmente (vampata), producendo CO.

I sintomi comprendono nausea, cefalea, debolezza e alterazioni mentali.

Avvelenamenti gravi da CO possono causare convulsioni, sincope o coma.

RISCHI DA CAUSE CHIMICHE

SINDROME NEUROLOGICA DA ALTA PRESSIONE “HPNS”

Una sindrome poco conosciuta caratterizzata da anomalie neuromuscolari e cerebrali.

Si può sviluppare a profondità ≥ 180 m (≥ 600 piedi), quando i subacquei vengono compressi rapidamente durante l'inspirazione di miscele He/O₂.

I sintomi comprendono nausea, vomito, tremori fini, incoordinazione, vertigini, spossatezza, sonnolenza, scosse miocloniche, crampi allo stomaco e riduzione delle prestazioni intellettive e psicomotorie.

La diagnosi è clinica.

La prevenzione è solitamente realizzata rallentando la velocità di compressione e/o aggiungendo una piccola quantità di un gas narcotico (es. N₂ 5%) alla miscela respiratoria.

SINDROME NEUROLOGICA DA ALTA PRESSIONE “HPNS”

- **Si manifesta in modo conclamato a profondità maggiore di 180 metri.**

La comparsa e la gravità della sindrome dipendono da:

- 1. Velocità della compressione**
- 2. Profondità (pressione) massima raggiunta**
- 3. suscettibilità individuale**

SINDROME NEUROLOGICA DA ALTA PRESSIONE “HPNS”

- **L’HPNS è caratterizzata da:**
 - 1. Disturbi motori (tremori, spasmi muscolari);**
 - 2. Sonnolenza e deficit delle prestazioni mentali;**
 - 3. Alterazioni dell’EEG e dei potenziali evocati corticali;**
 - 4. Sensazione di "testa vuota" e vertigini a cui si associano: inappetenza, sensazioni epigastriche non meglio precisate, nausea e vomito;**
 - 5. Artralgie, mialgie;**
 - 6. Bradicardia.**

SINDROME NEUROLOGICA DA ALTA PRESSIONE “HPNS”

PATOGENESI DELL’HPNS

- **Le conoscenze al riguardo sono molto limitate. Sono chiamati in causa diversi fattori tipo:**
- **Alterazioni ioniche a livello di membrana,**
- **Effetti meccanici diretti da aumentata pressione,**
- **Alterazioni della “fase lipidica” delle membrane neuronali per adsorbimento di elio, ecc.,**
- **Nel corso degli ultimi anni particolare attenzione è stata rivolta ai possibili effetti di alte pressioni sulla sintesi di rilascio di neurotrasmettitori esempio la dopamina, con risultati interessanti ma la interpretazione è incerta.**
- **Sembra comunque che le sostanze narcotiche o anestetiche, come l’azoto e l’idrogeno, nel ridurre i sintomi dell’HPNS, agiscono stimolando la produzione di neurotrasmettitori inibitori ad esempio l’acido gamma-aminobutirrico (GABA) e riducendo o bloccando la produzione di neurotrasmettitori eccitatori ad esempio l’aspartato e glutammato.**

Il Rischio da Atmosfere Iperbariche



THANKS!