

Seminario

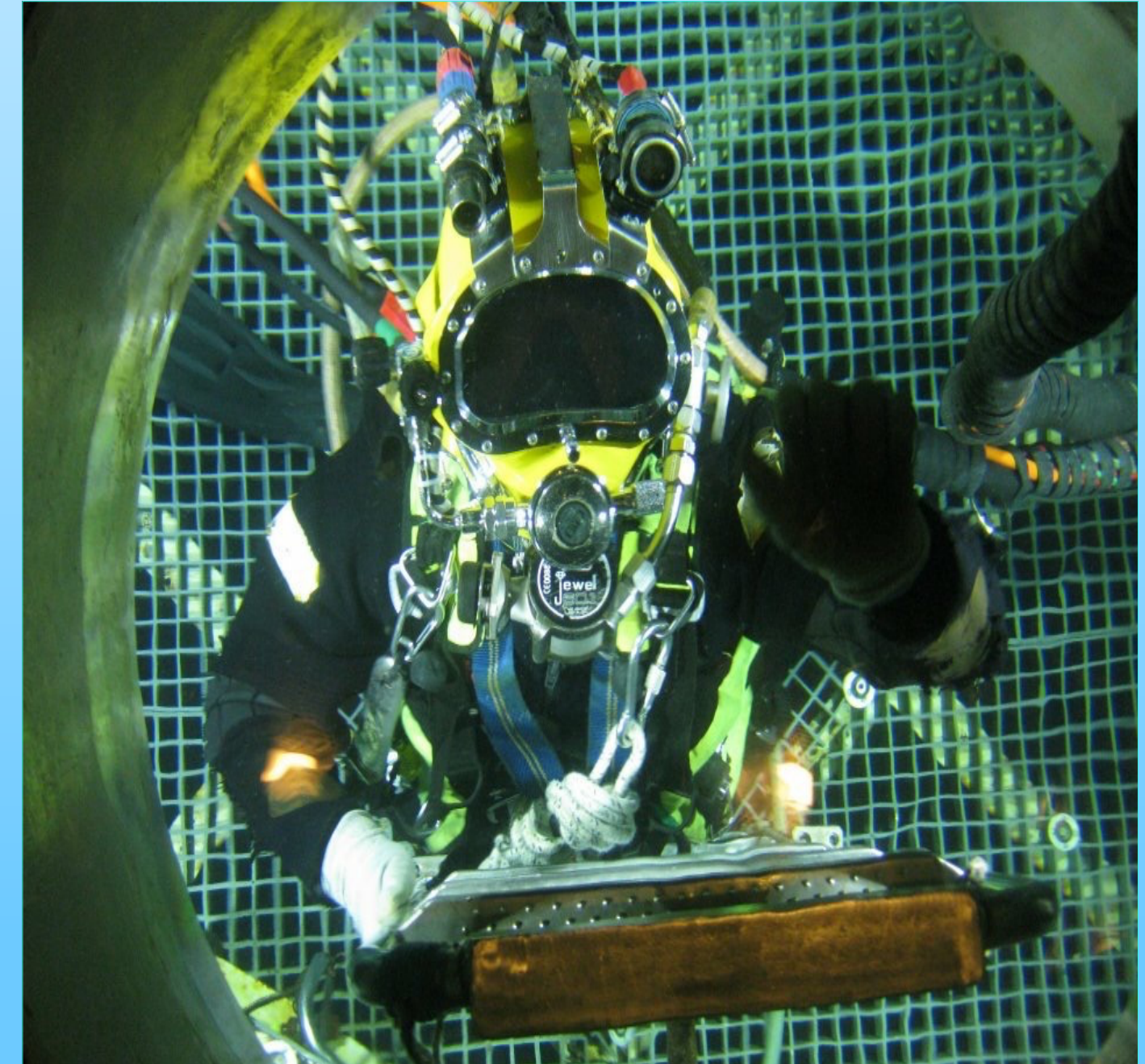
Il Rischio da Atmosfere Iperbariche



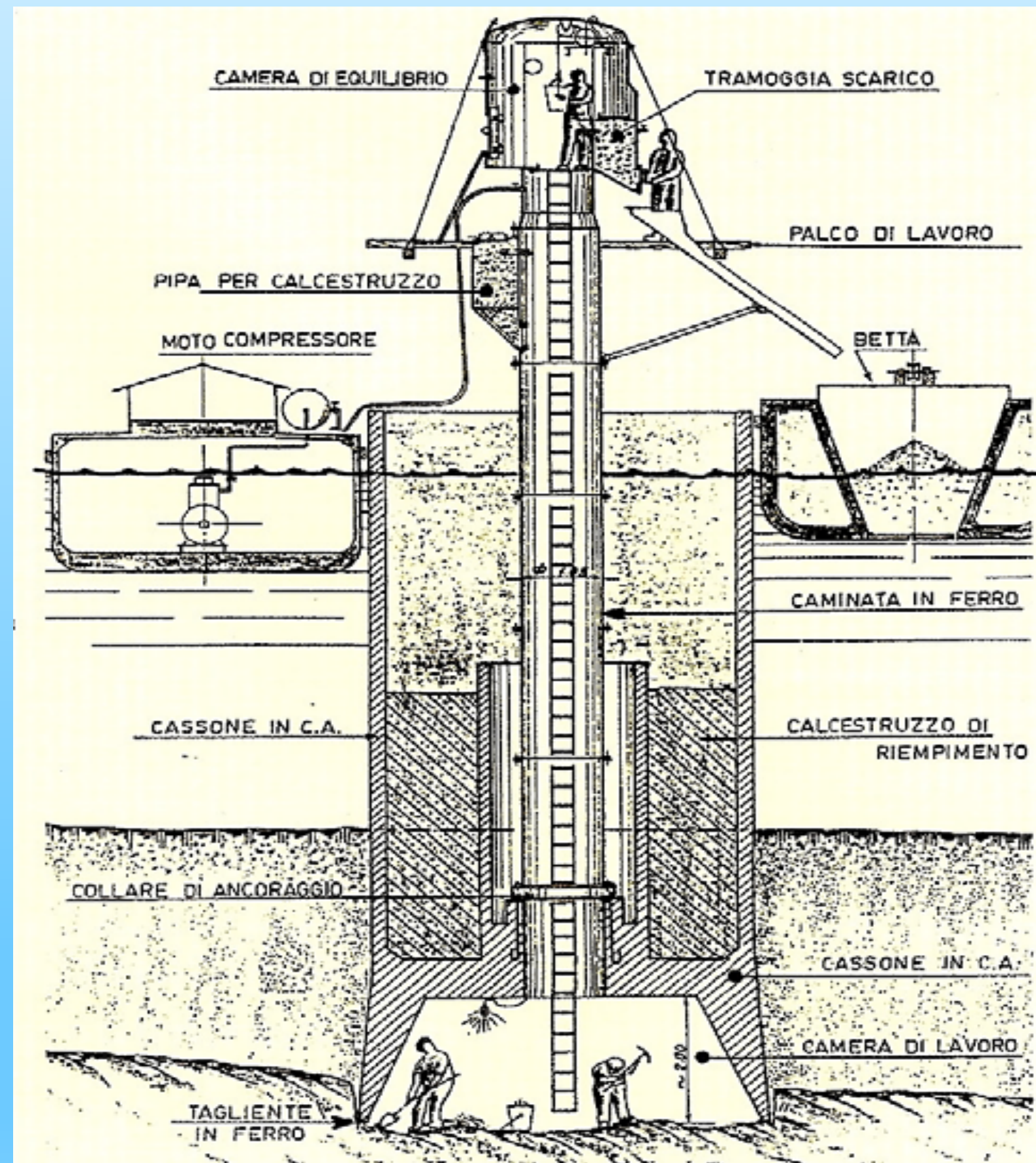
MD COSTANZO C.* MD VALENTE G.**
*** Responsabile Iperbarico HWS**
**** Responsabile Medico CIR**

07 FEBBRAIO 2023 - Polo Formativo SAFE –

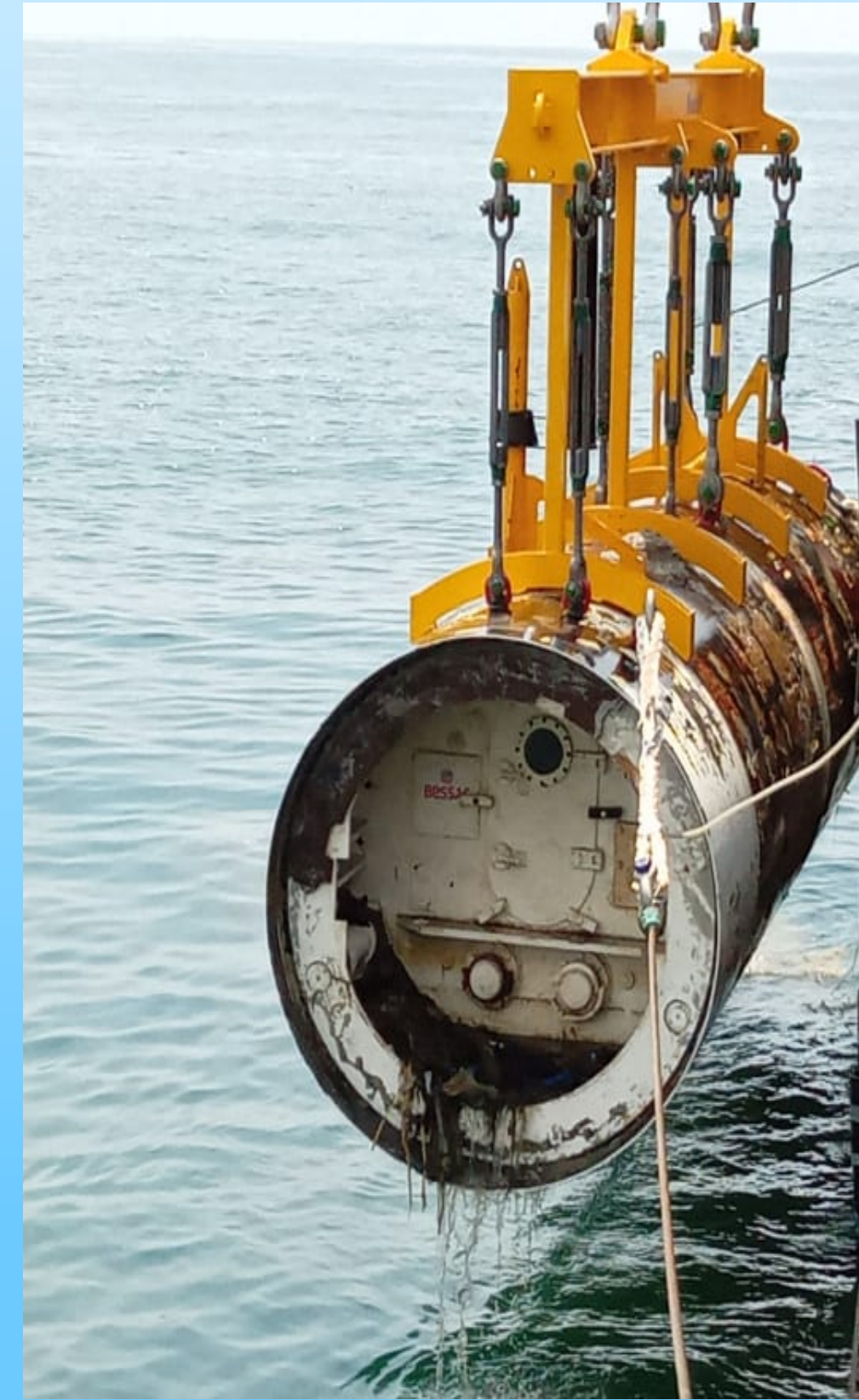
LAVORO IN ATMOSFERE IPERBARICHE IN UMIDO



LAVORO IN ATMOSFERE IPERBARICHE A SECCO



LAVORO IN ATMOSFERE IPERBARICHE SECCO E UMIDO

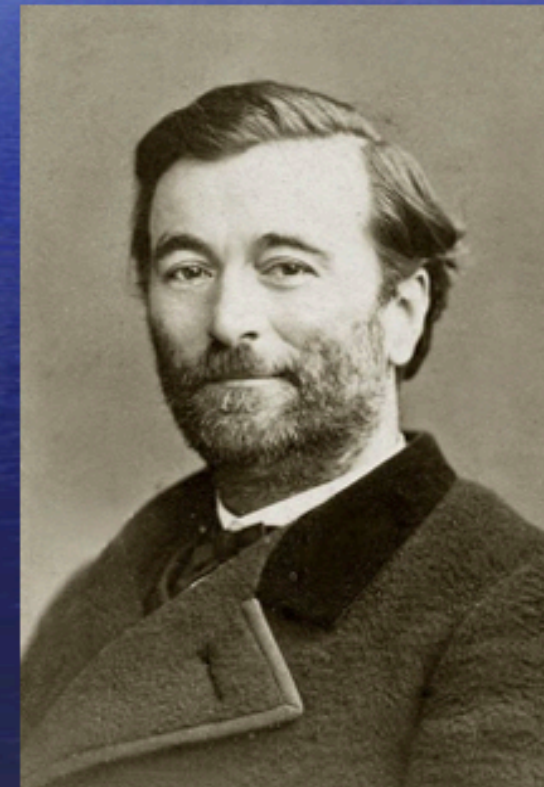


LAVORO IN ATMOSFERE IPERBARICHE

QUALI SONO GLI INTERESSI DELLA MEDICINA IPERBARICA ???

EVOLUZIONE DELLE TABELLE DI DECOMPRESSIONE ALGORITMI A CONFRONTO

Fu Paul Bert, nel 1878, ad intuire e a dimostrare che: Una eccessiva velocità della fase decompressiva provocava la formazione di bolle di azoto nei tessuti e nel sangue provocando i sintomi dei bends o mal de caisson



442 The Prevention of Compress-air Illness

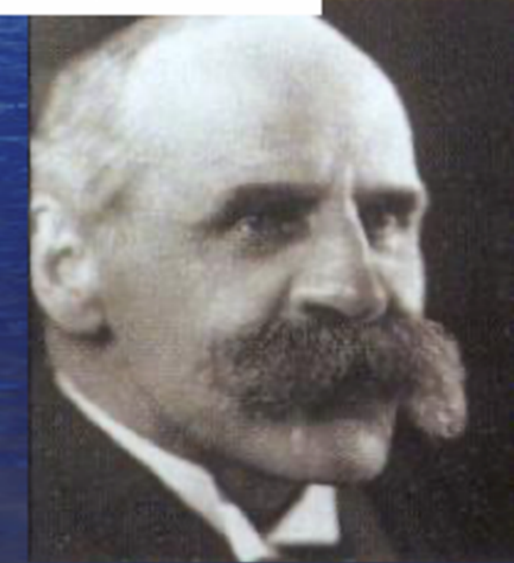
APPENDIX IV.

TABLE I.

Stoppages during the ascent of a diver after ordinary limits of time from surface.

Depth feet	Descent minutes per 100 feet	Time from surface to depth	Time from depth to surface	Ascent rate feet per min.	Stoppages in intervals of different depths*					Total time for ascent
					10%	20%	30%	40%	50%	
0-50	0-6	0-16	No limit	...	...	...	...	...	0-1
50-100	0-7	30-19	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
100-150	0-8	45-26	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
150-200	0-9	1-14	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
200-250	0-10	2-4	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
250-300	0-11	3-5	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
300-350	0-12	4-6	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
350-400	0-13	5-7	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
400-450	0-14	6-8	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
450-500	0-15	7-9	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
500-550	0-16	8-10	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
550-600	0-17	9-11	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
600-650	0-18	10-12	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
650-700	0-19	11-13	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
700-750	0-20	12-14	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
750-800	0-21	13-15	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
800-850	0-22	14-16	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
850-900	0-23	15-17	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
900-950	0-24	16-18	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
950-1000	0-25	17-19	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1000-1050	0-26	18-20	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1050-1100	0-27	19-21	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1100-1150	0-28	20-22	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1150-1200	0-29	21-23	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1200-1250	0-30	22-24	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1250-1300	0-31	23-25	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1300-1350	0-32	24-26	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1350-1400	0-33	25-27	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1400-1450	0-34	26-28	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1450-1500	0-35	27-29	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1500-1550	0-36	28-30	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1550-1600	0-37	29-31	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1600-1650	0-38	30-32	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1650-1700	0-39	31-33	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1700-1750	0-40	32-34	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1750-1800	0-41	33-35	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1800-1850	0-42	34-36	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1850-1900	0-43	35-37	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1900-1950	0-44	36-38	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
1950-2000	0-45	37-39	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2000-2050	0-46	38-40	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2050-2100	0-47	39-41	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2100-2150	0-48	40-42	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2150-2200	0-49	41-43	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2200-2250	0-50	42-44	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2250-2300	0-51	43-45	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2300-2350	0-52	44-46	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2350-2400	0-53	45-47	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2400-2450	0-54	46-48	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2450-2500	0-55	47-49	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2500-2550	0-56	48-50	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2550-2600	0-57	49-51	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2600-2650	0-58	50-52	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2650-2700	0-59	51-53	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2700-2750	0-60	52-54	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2750-2800	0-61	53-55	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2800-2850	0-62	54-56	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2850-2900	0-63	55-57	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2900-2950	0-64	56-58	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
2950-3000	0-65	57-59	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3000-3050	0-66	58-60	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3050-3100	0-67	59-61	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3100-3150	0-68	60-62	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3150-3200	0-69	61-63	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3200-3250	0-70	62-64	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3250-3300	0-71	63-65	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3300-3350	0-72	64-66	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3350-3400	0-73	65-67	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3400-3450	0-74	66-68	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3450-3500	0-75	67-69	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3500-3550	0-76	68-70	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3550-3600	0-77	69-71	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3600-3650	0-78	70-72	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3650-3700	0-79	71-73	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3700-3750	0-80	72-74	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3750-3800	0-81	73-75	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3800-3850	0-82	74-76	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3850-3900	0-83	75-77	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3900-3950	0-84	76-78	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
3950-4000	0-85	77-79	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4000-4050	0-86	78-80	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4050-4100	0-87	79-81	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4100-4150	0-88	80-82	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4150-4200	0-89	81-83	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4200-4250	0-90	82-84	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4250-4300	0-91	83-85	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4300-4350	0-92	84-86	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4350-4400	0-93	85-87	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4400-4450	0-94	86-88	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4450-4500	0-95	87-89	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4500-4550	0-96	88-90	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4550-4600	0-97	89-91	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4600-4650	0-98	90-92	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4650-4700	0-99	91-93	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4700-4750	0-100	92-94	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4750-4800	0-101	93-95	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4800-4850	0-102	94-96	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4850-4900	0-103	95-97	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4900-4950	0-104	96-98	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1
4950-5000	0-105	97-99	Over 2 hours	...	...	...	...	...	0-1

Haldane

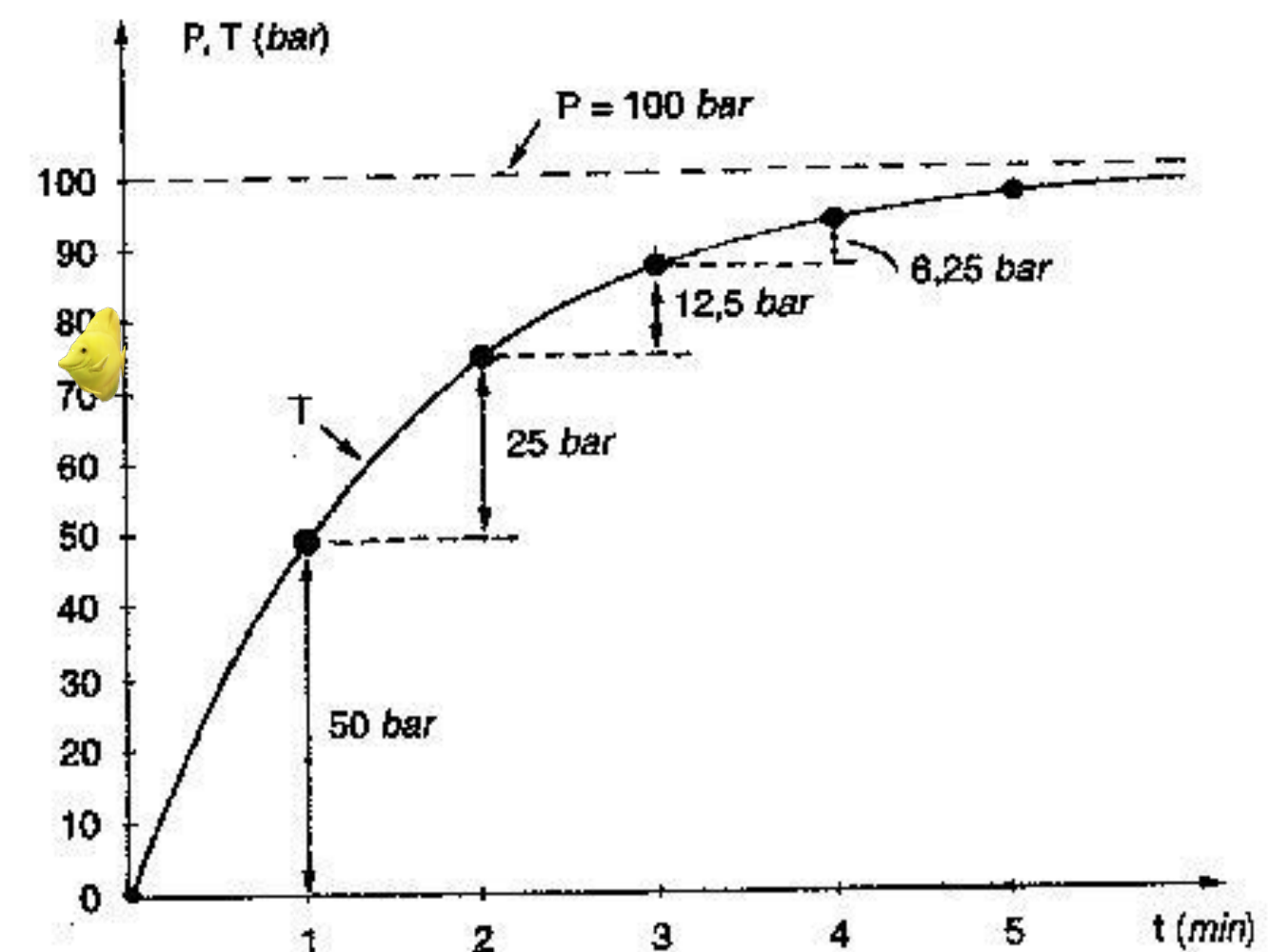


Haldane

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

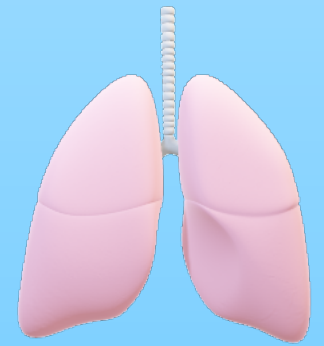
Curva di assorbimento di un gas secondo la legge di Henry.

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

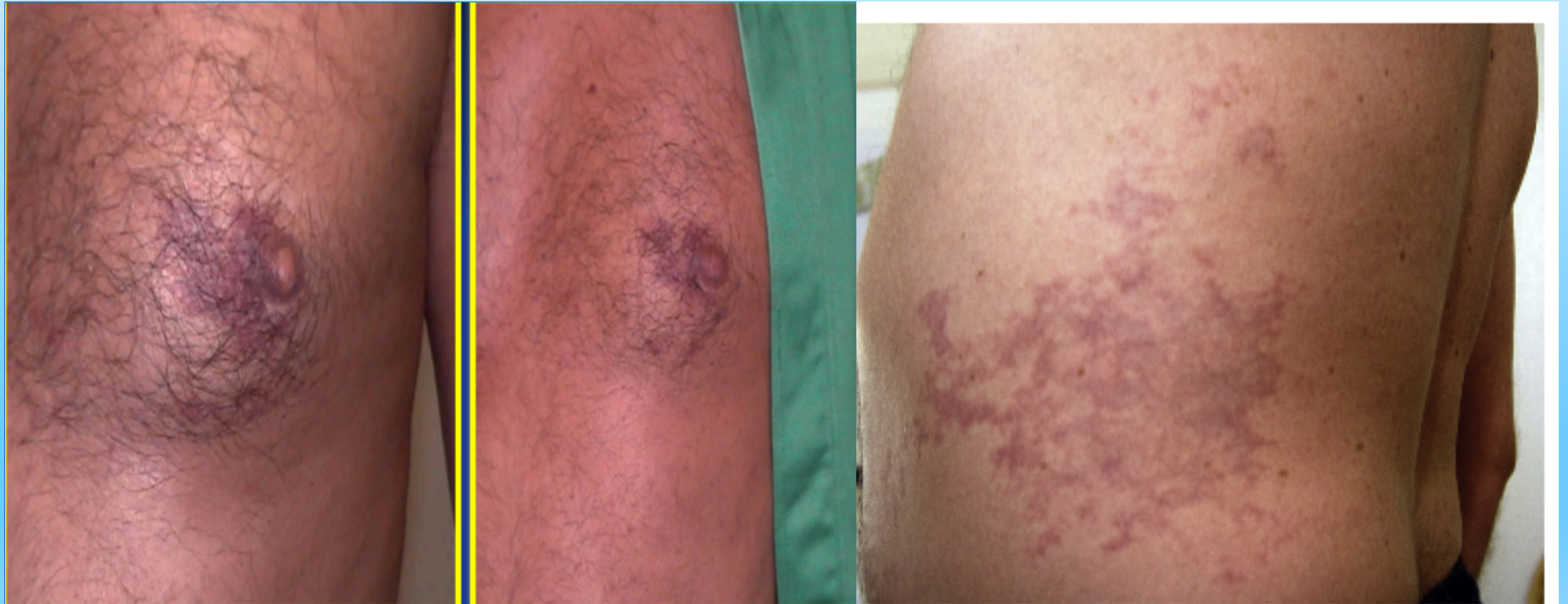
Dentale

Orecchio Medio

Orecchio Interno

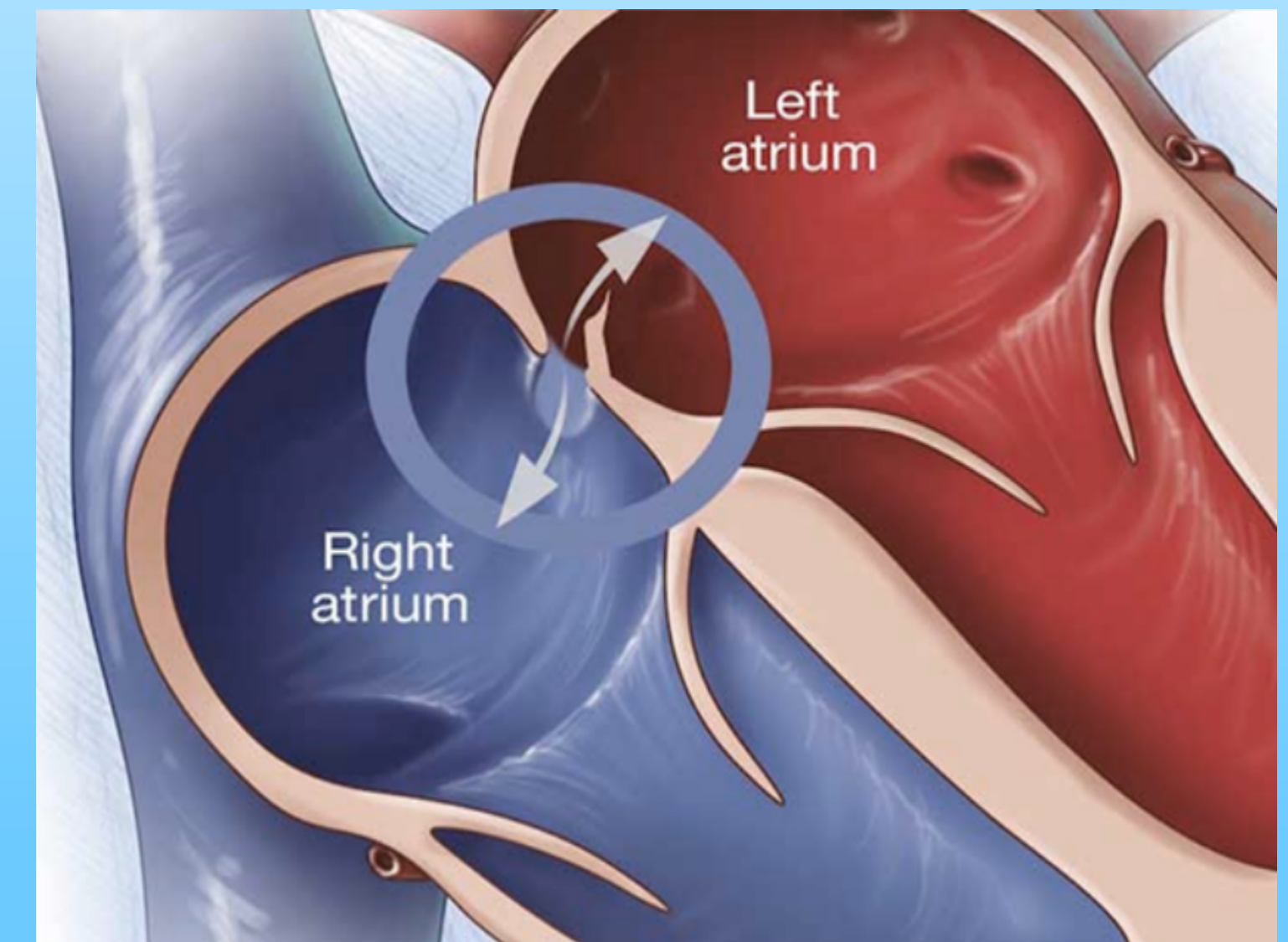
Gastrointestinale

DECOMPRESSION SICKNESS (DCS I Minor)



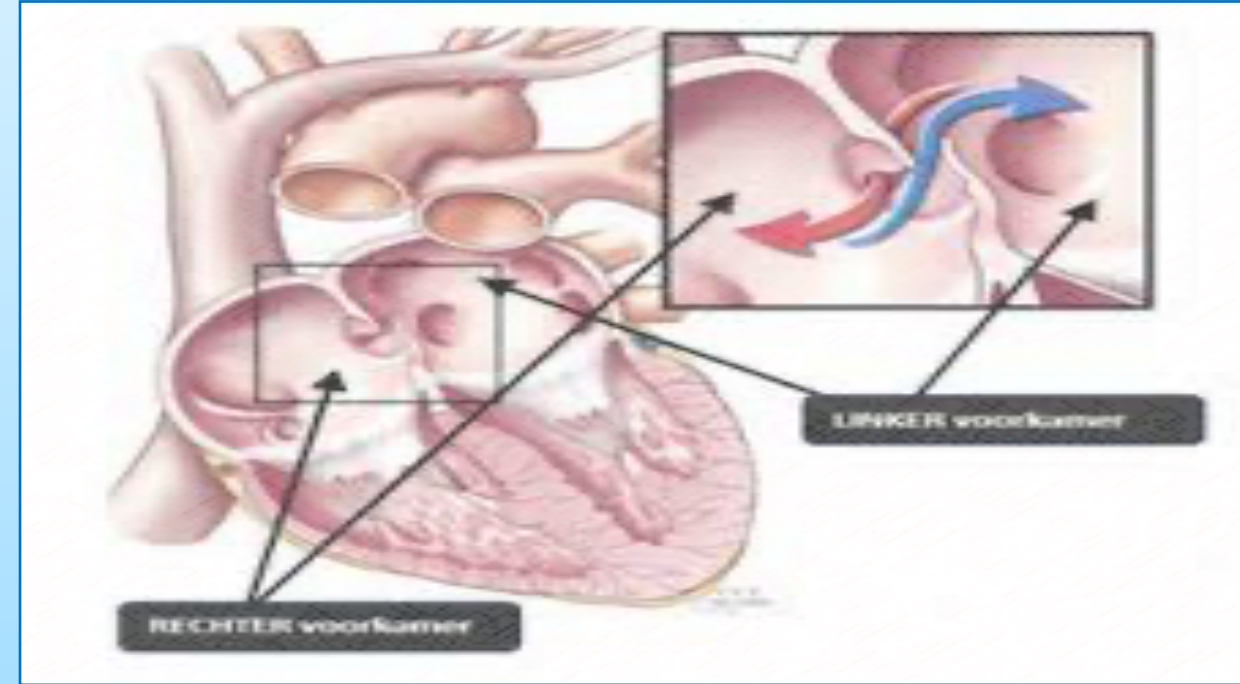
PATOLOGIA DA DECOMPRESSIONE: FORAME OVALE PERVIO

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



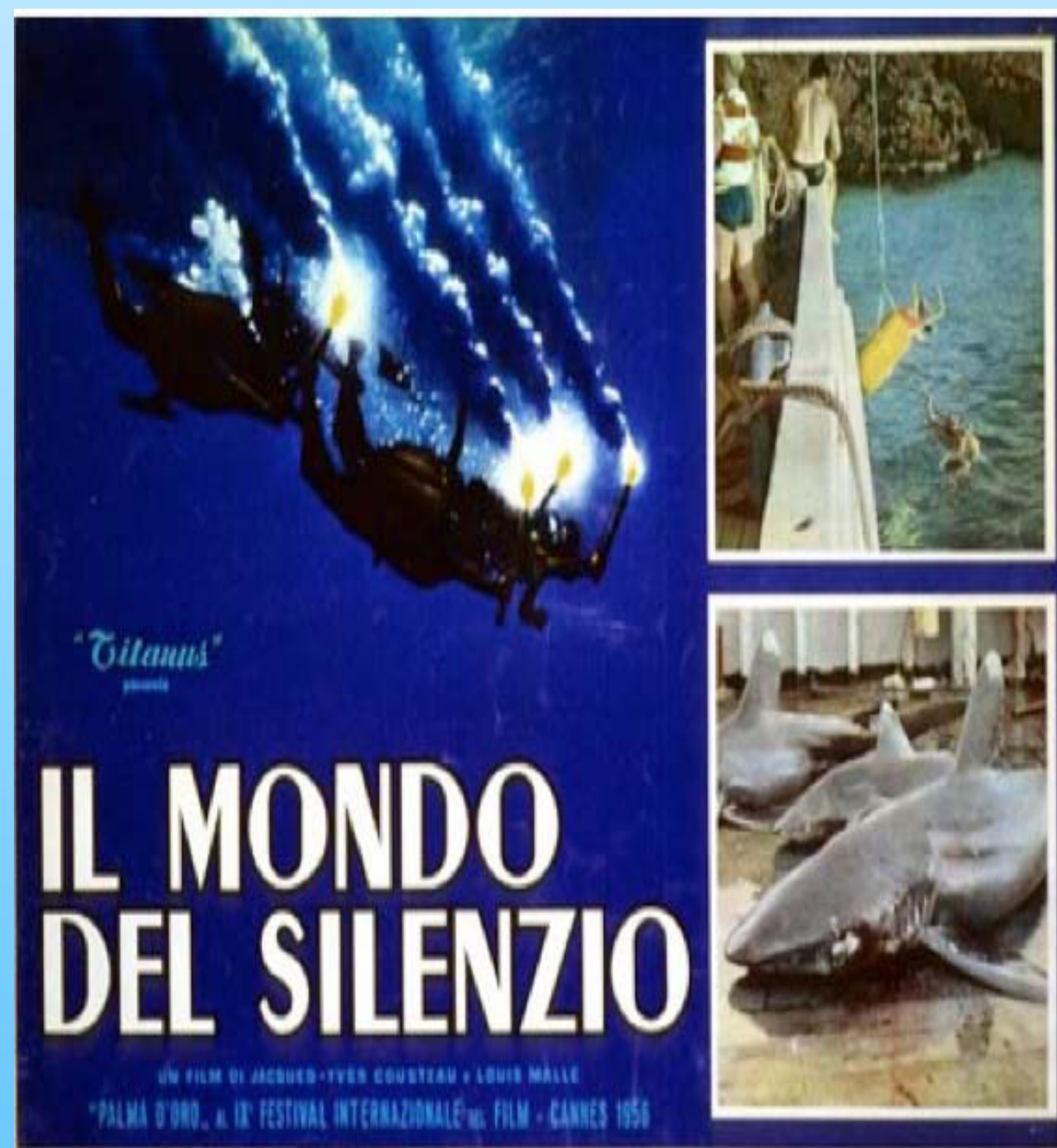
- **É lo shunt destro-sinistro spontaneo, potrebbe causare un'Embolia Paradosa, dovuta ad un coagulo (trombo) causando un ictus o da emboli gassosi che possono causare una PDD, sia neurologica che cutanea.**

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

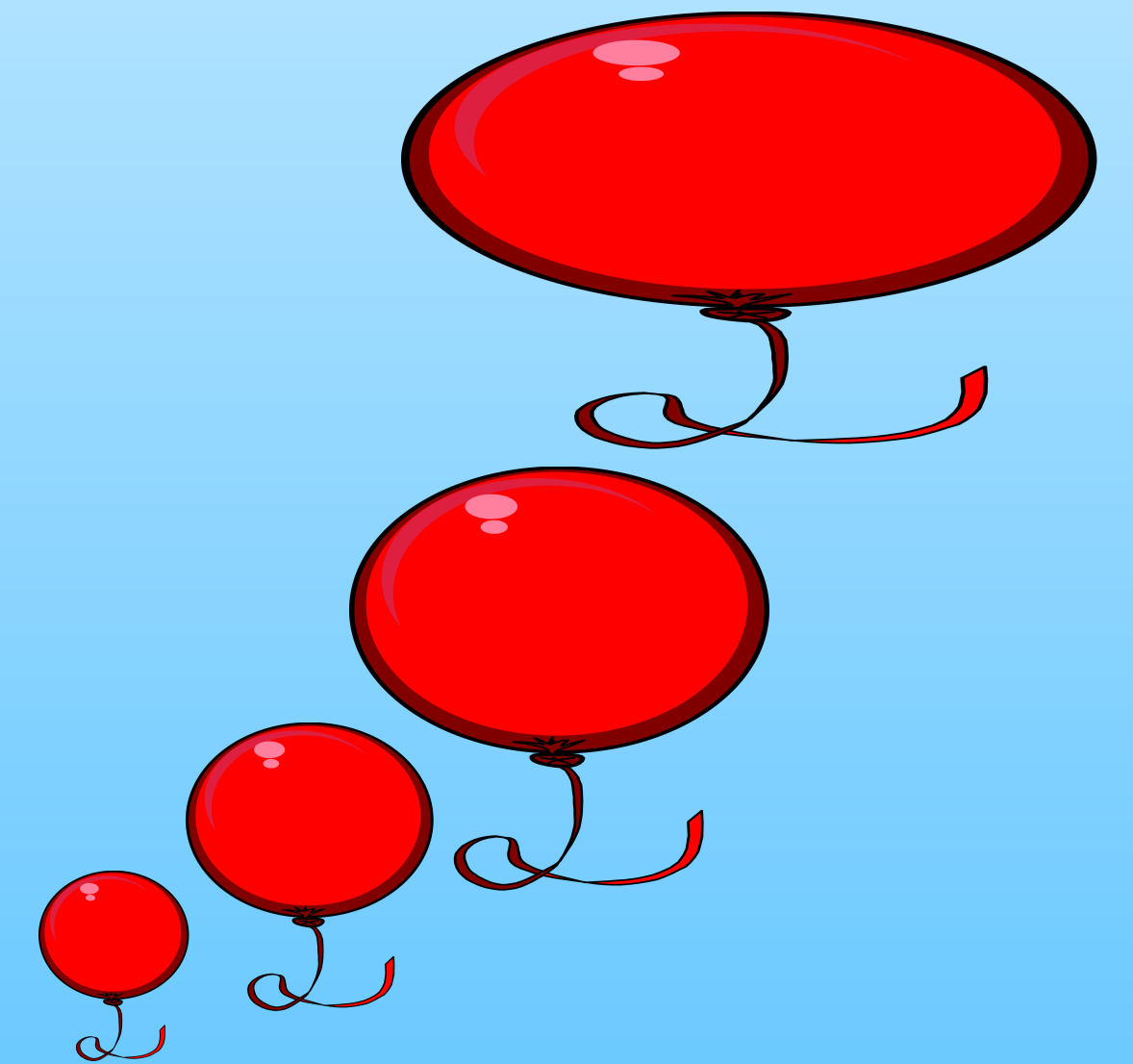
BOYLE

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**

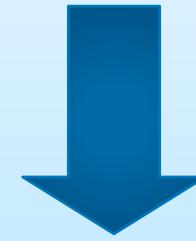
EMBOLIA GASSOSA ARTERIOSA «EGA»

- **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

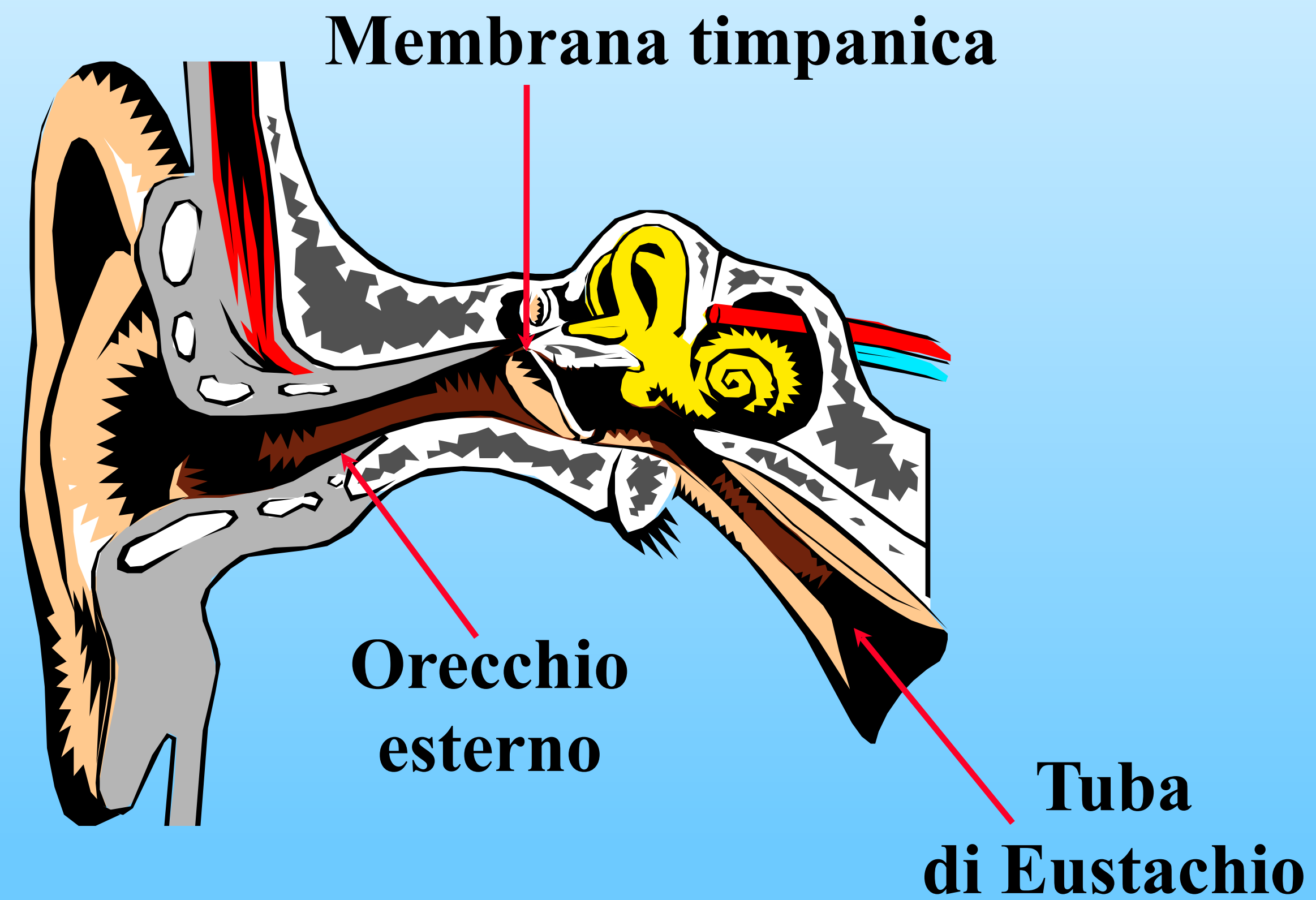
Colpo di Ventosa della Maschera

Schiacciamento Muta

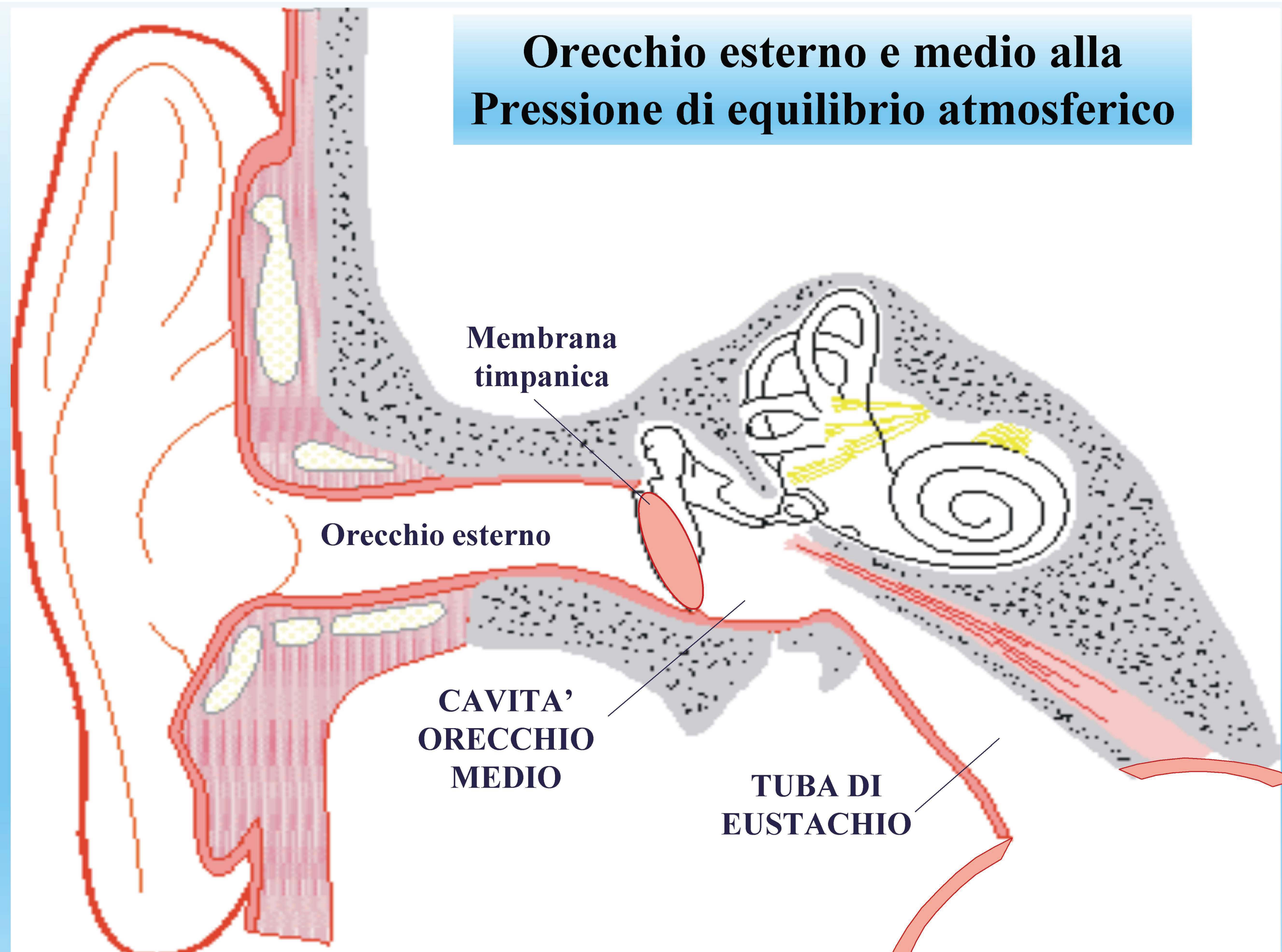
Sovradistensione Polmonare-Gastrointestinale

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

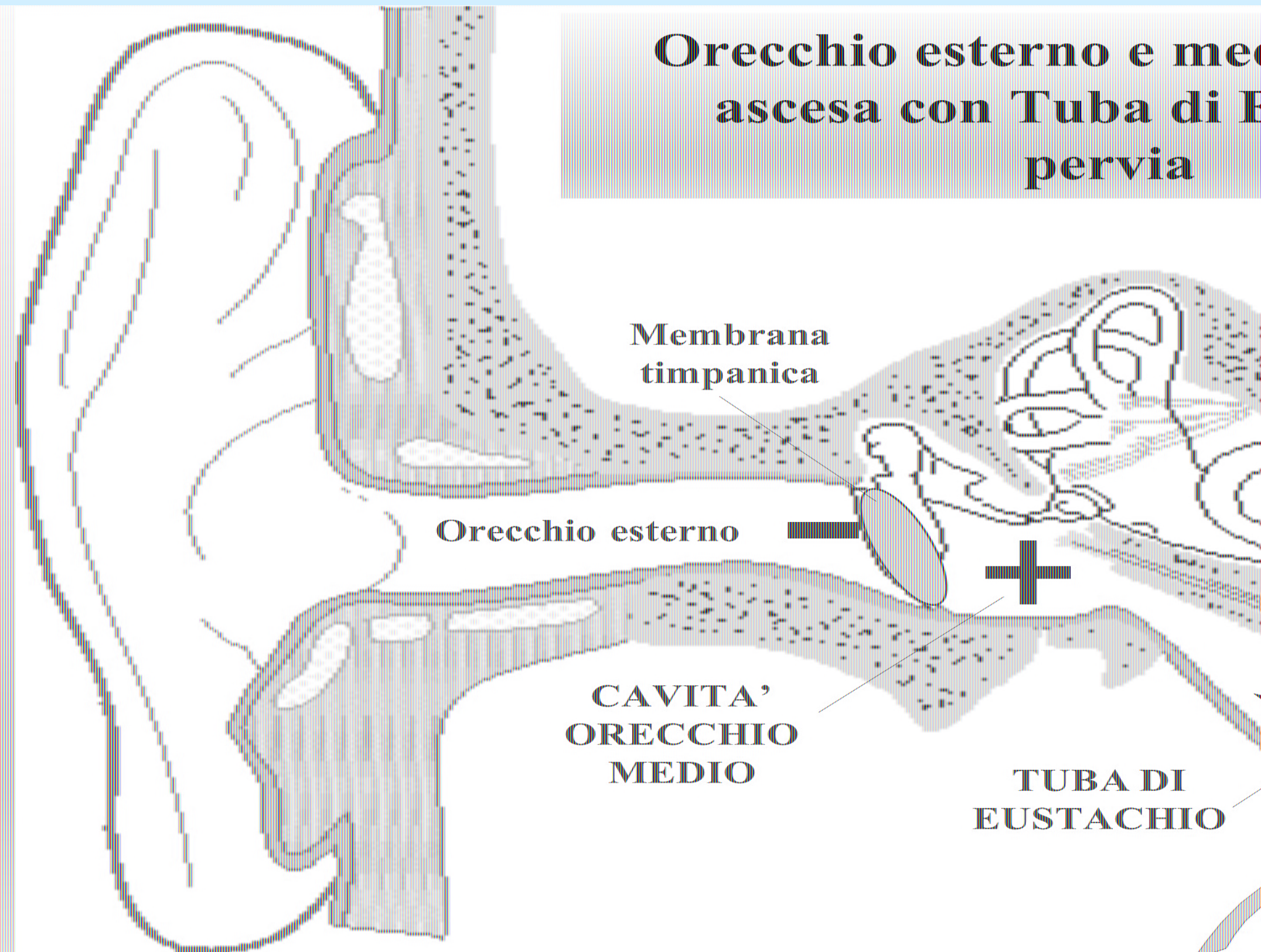
Membrana
timpanica

Orecchio esterno

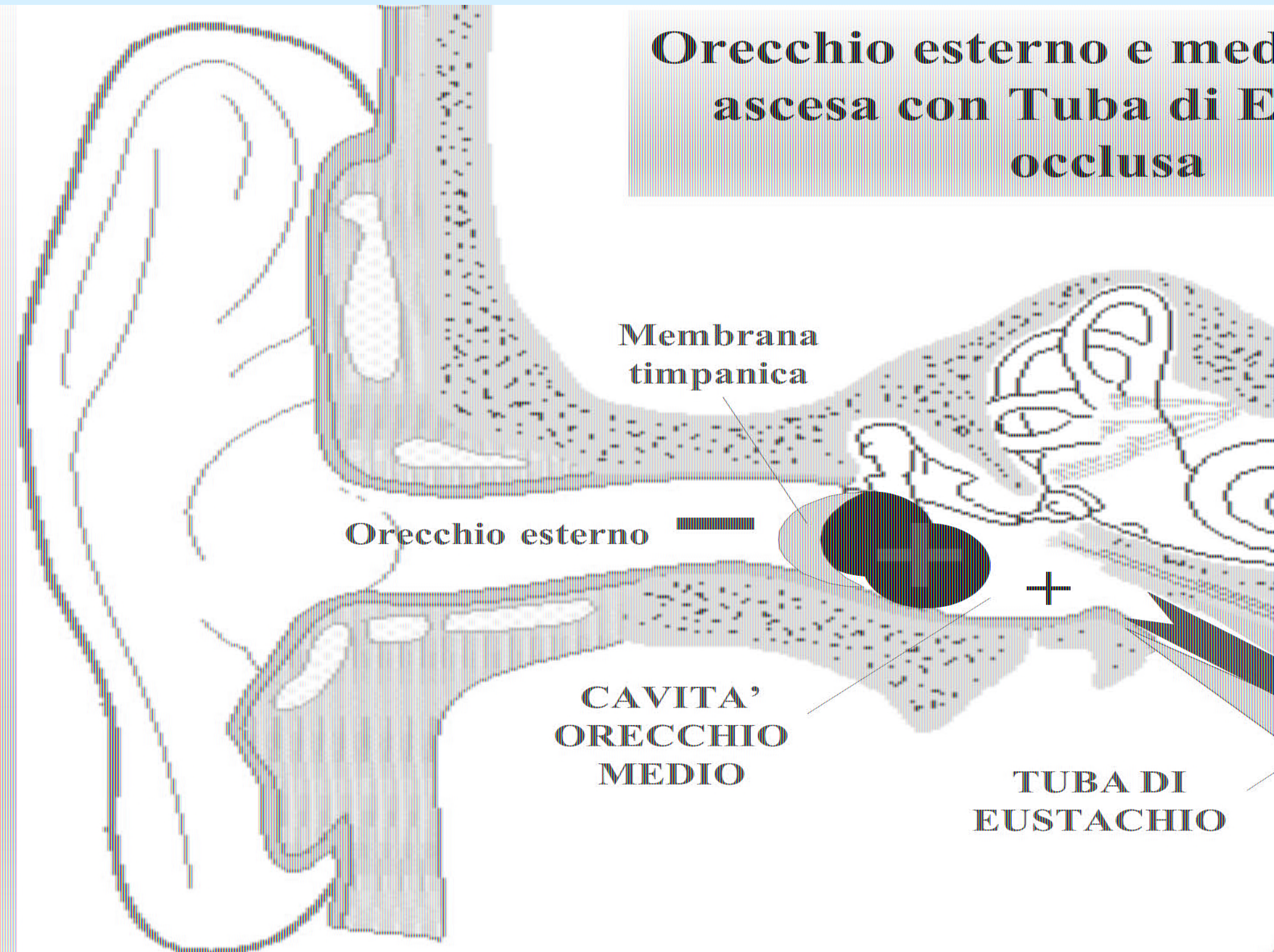
CAVITA'
ORECCHIO
MEDIO

TUBA DI
EUSTACHIO

**Orecchio esterno e medio
ascesa con Tuba di Eustachio
peruvia**



**Orecchio esterno e medio
ascesa con Tuba di Eustachio
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

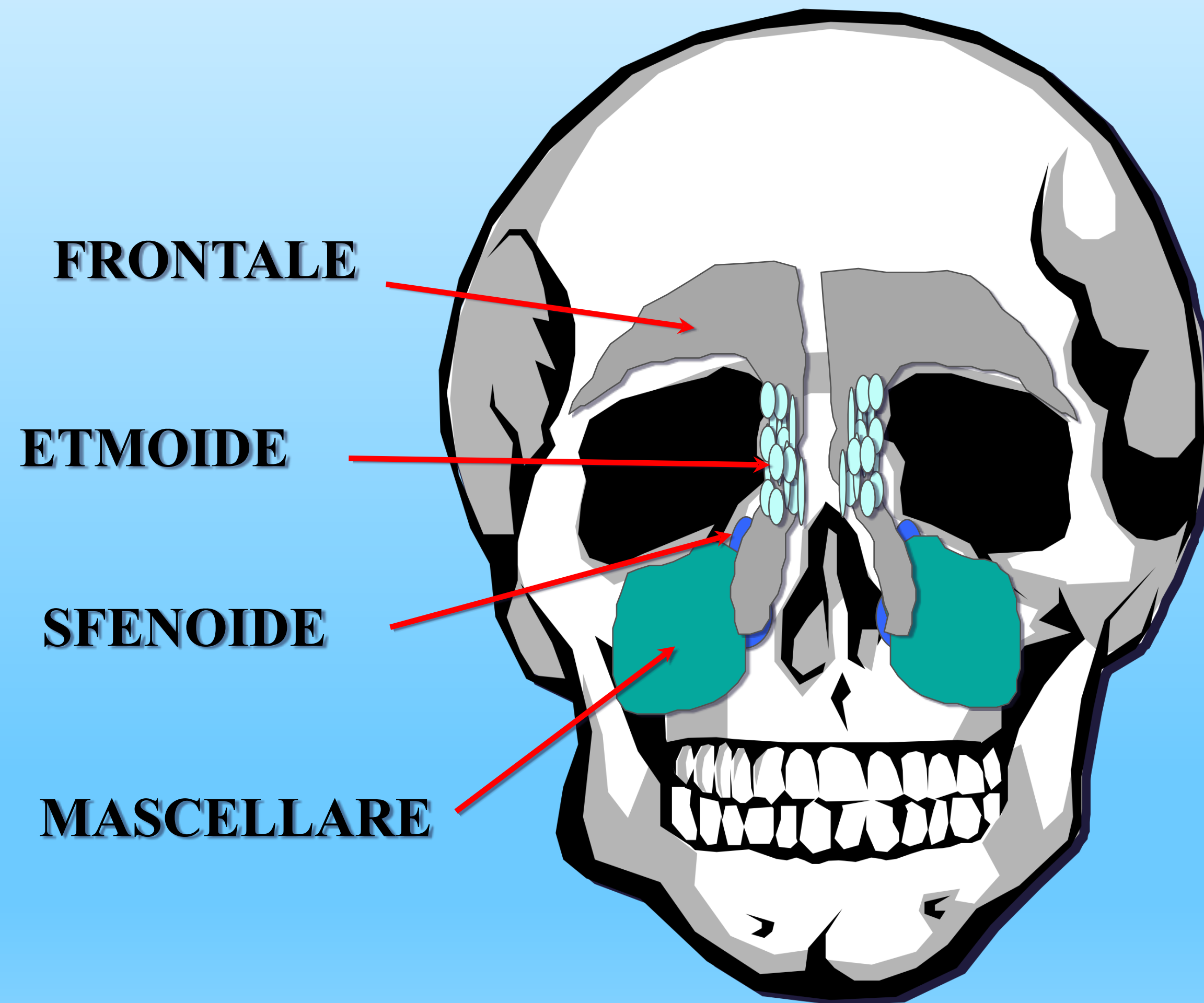
Colpo di Ventosa

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.

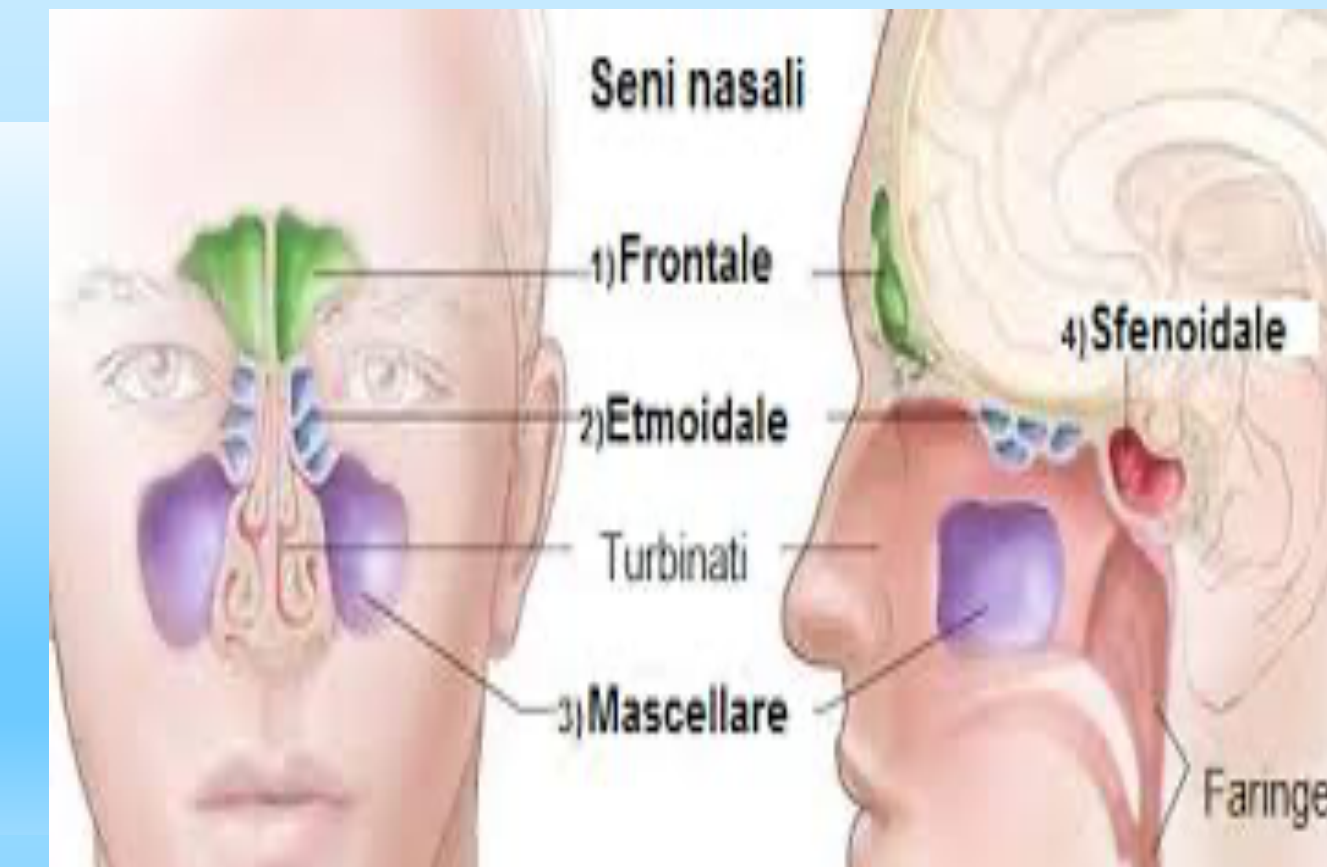


SENI PARANASALI



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

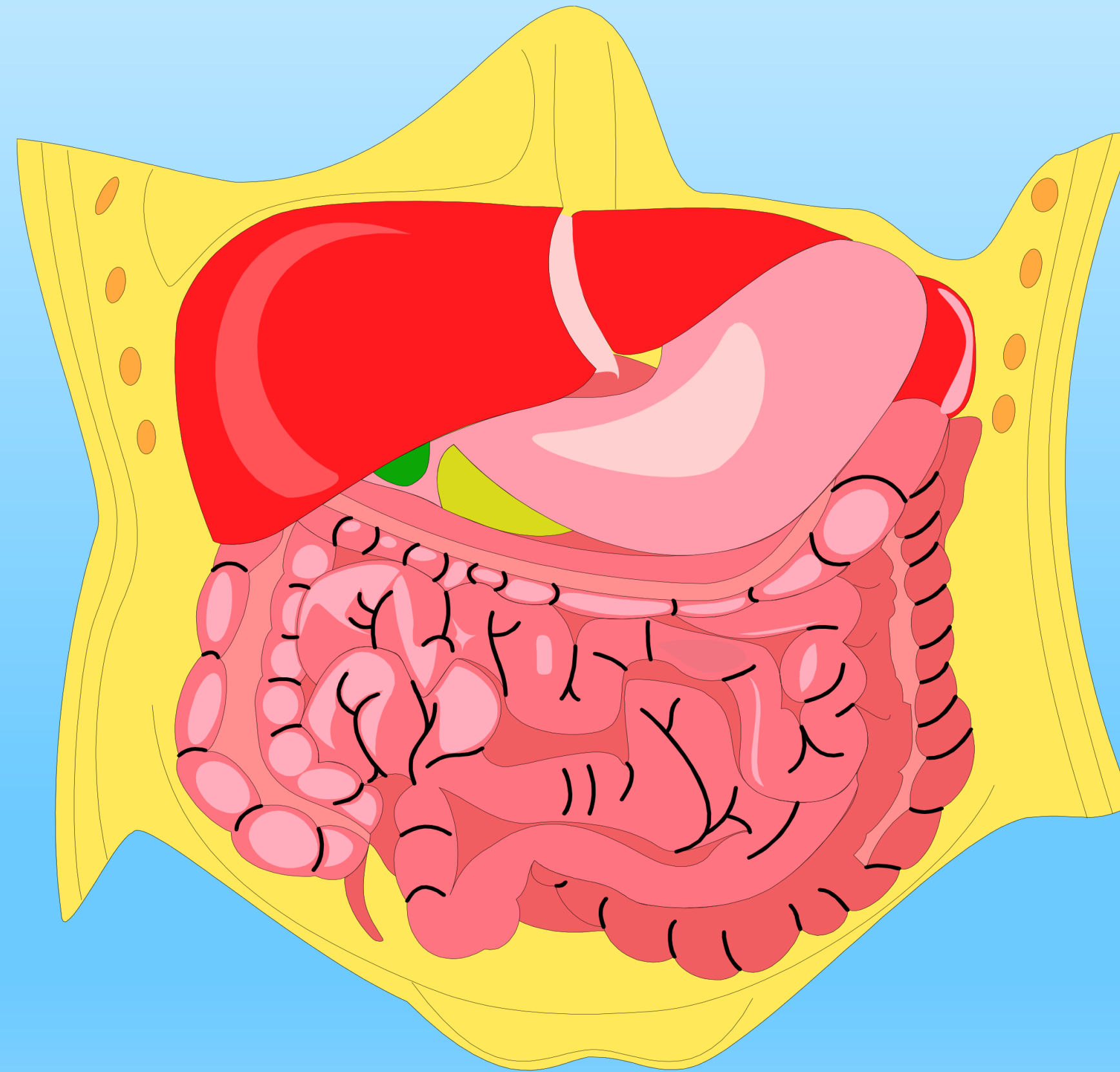
La respirazione impropria, mediante un erogatore o l'esecuzione di tecniche di compensazione errate tra orecchie e seni, possono far sì che il subacqueo deglutisca piccole quantità di aria durante l'immersione.

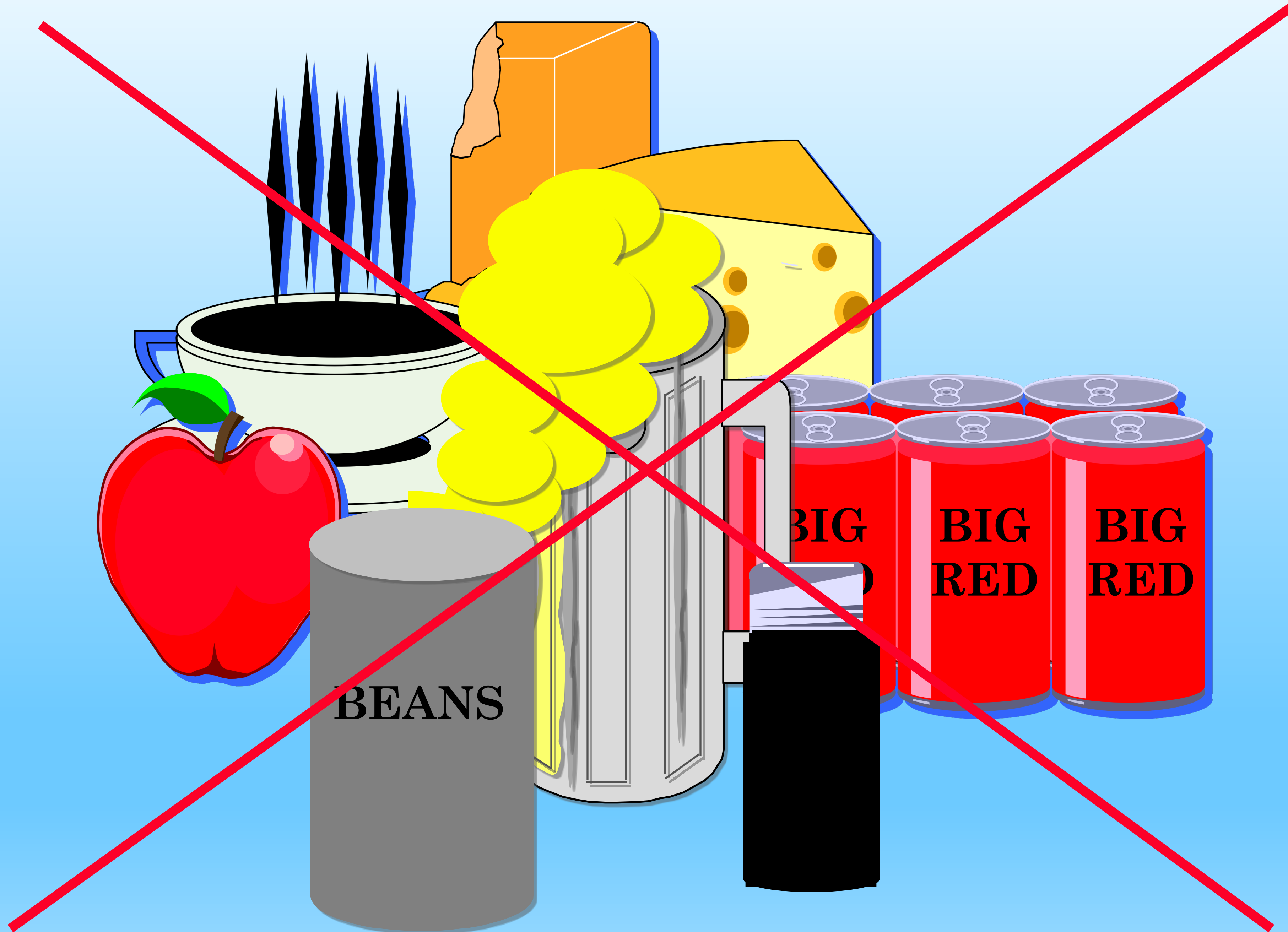
Questa aria si espande durante la risalita, causando senso di ripienezza addominale, crampi, dolore, eruttazioni e flatulenza.

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!