

Indications et interprétation des gaz du sang artériel

Pr Christophe Delclaux
Physiologie Pédiatrique



Hôpital universitaire
Robert-Debré

ASSISTANCE PUBLIQUE  HÔPITAUX
DE PARIS

ASSISTANCE PUBLIQUE  HÔPITAUX
DE PARIS

université
PARIS
PARIS 7
DIDEROT

Plan

Prise de sang: ponction artérielle

Grandeurs mesurées et calculées
Normes de l'hématose

Interprétation

Indications

Plan

Prise de sang: ponction artérielle

Grandeurs mesurées et calculées

Normes de l'hématose

Interprétation

MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SPORTS**Arrêté du 28 décembre 2009 relatif aux modalités de prélèvements par ponctions artérielles au niveau de l'artère radiale ou de l'artère fémorale en vue d'analyses de biologie médicale par le pharmacien biologiste**

NOR : SASH0931675A

Art. 1^{er}. – La réalisation des ponctions artérielles au niveau de l'artère radiale ou de l'artère fémorale en vue d'analyses de biologie médicale par le pharmacien biologiste est soumise à prescription médicale

Art. 2. – Le patient est préalablement informé du déroulement du prélèvement et de ses complications éventuelles.

Art. 3. –

Le test d'ALLEN est pratiqué avant toute ponction radiale, dans le but de vérifier l'existence d'un débit suffisant au niveau de l'artère. Dans la négative, le prélèvement est effectué au niveau de l'artère fémorale.

Le prélèvement au niveau de l'artère fémorale est à réserver aux cas où le prélèvement radial est strictement impossible.

Art. 4. – L'existence de lésion cutanée en regard du point de ponction constitue une contre-indication au prélèvement artériel.

Toute situation d'hypocoagulation (traitement anticoagulant ou antiplaquettaire, anomalies de l'hémostase) constitue une contre-indication au prélèvement artériel.

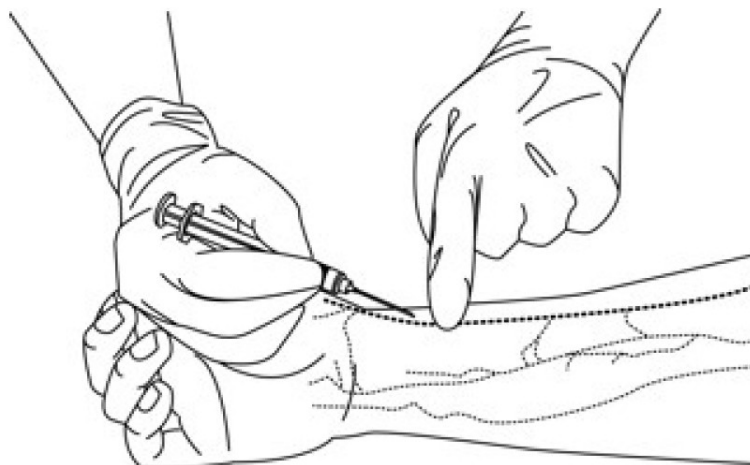
Chez l'insuffisant rénal susceptible d'être traité ou en cours de traitement par hémodialyse, les ponctions artérielles au niveau radial sont évitées afin de préserver l'abord vasculaire ou de ne pas compromettre sa création.

Lignes directrices de l'OMS applicables aux prélèvements sanguins: meilleures pratiques en phlébotomie

Prélèvement de sang artériel	31
5.1 Informations générales concernant le prélèvement de sang artériel	31
5.1.1 Choix du site	31
5.1.2 Complications liées au prélèvement de sang artériel	31
5.1.3 Erreurs de prélèvement	32
5.2 Instructions pratiques pour le prélèvement de sang artériel	32
5.2.1 Matériel et fournitures	32
5.2.2 Procédure pour le prélèvement de sang artériel à partir de l'artère radiale	32
5.3 Illustrations pour le prélèvement de sang artériel	33

5.3 Illustrations pour le prélèvement de sang artériel

Figure 5.1 Prélèvement de sang artériel



Localiser l'artère et prendre un échantillon.

Procédure en 16 étapes...

Étape 3: test d'Allen

5.2.2 Procédure pour le prélèvement de sang artériel à partir de l'artère radiale

Pour prélever du sang à partir de l'artère radiale au moyen d'une aiguille et d'une seringue, suivre les étapes ci-après :

1. S'approcher du patient, se présenter et lui demander d'indiquer son nom complet.
2. Faire installer le patient sur le dos, à plat. Demander l'aide d'une infirmière si la position du patient doit être modifiée pour la rendre plus confortable. Si le patient serre les poings, retient sa respiration ou pleure, cela peut modifier la respiration et donc les résultats d'analyse.
3. Localiser l'artère radiale en pratiquant le test d'Allen (voir annexe J) pour évaluer la circulation collatérale. Si le premier test échoue à localiser l'artère radiale, répéter l'opération sur l'autre main. Une fois le site identifié, prendre des repères anatomiques pour être en mesure de le retrouver. S'il est nécessaire de palper une nouvelle fois le site après la première palpation, enfiler des gants stériles.
4. Pratiquer les gestes d'hygiène des mains, dégager une zone de travail à côté du lit et préparer les fournitures. Mettre une blouse ou un tablier imperméable et une protection faciale si l'on s'attend à être exposé au sang.
5. Désinfecter le site de prélèvement avec de l'alcool à 70 % et laisser sécher.
6. Si l'aiguille et la seringue ne sont pas préassemblées, assembler l'aiguille et la seringue préhéparinée et pousser le piston de la seringue jusqu'au niveau de remplissage recommandé par le laboratoire local.

7. En tenant la seringue et l'aiguille comme une fléchette, utiliser l'index une nouvelle fois pour localiser le pouls, informer le patient qu'il va être piqué et introduire l'aiguille avec un angle de 45°, à approximativement **1 cm de distance** de l'index, pour éviter de contaminer la zone où pénètre l'aiguille.
8. Faire progresser l'aiguille dans l'artère radiale jusqu'à ce qu'un flux de sang en retour apparaisse, puis laisser la seringue se remplir jusqu'au niveau approprié. NE PAS appuyer sur le piston de la seringue.
9. Retirer l'aiguille et la seringue ; placer un morceau de gaze ou de coton propre et sec sur le site et demander au patient ou à un assistant d'appliquer une pression ferme pendant un temps suffisant pour stopper le saignement. Vérifier que le saignement s'est effectivement arrêté au bout de 2-3 minutes. Cinq minutes ou plus peuvent être nécessaires pour les patients souffrant d'hypertension ou d'un trouble du saignement, ou encore prenant des anticoagulants.
10. Activer les mécanismes permettant, dans le cas d'une aiguille de sécurité, de recouvrir l'aiguille avant de placer cette dernière dans le récipient rempli de glace. En l'absence d'un dispositif de conception sécurisée, appliquer la technique de ramassage du capuchon à une main (expliquée à l'annexe G) pour recapuchonner l'aiguille après retrait.
11. Expulser les bulles d'air, boucher la seringue et faire rouler l'échantillon entre les mains pour le mélanger en douceur. Boucher la seringue pour éviter un contact entre le sang artériel et l'air et pour prévenir les fuites pendant le transport vers le laboratoire.
12. Apposer une étiquette sur la seringue de prélèvement.
13. Éliminer de manière appropriée tout le matériel et les équipements de protection individuels usagés.
14. Retirer les gants et se laver soigneusement les mains à l'eau et au savon, puis les sécher avec des serviettes à usage unique ; il est également possible d'utiliser à cet effet une solution hydro-alcoolique.
15. Vérifier que le site de ponction ne saigne plus (si nécessaire, comprimer encore une fois) et remercier le patient.
16. Transporter immédiatement l'échantillon au laboratoire en respectant la procédure de manipulation de celui-ci.

Annexe I: Test d'Allen modifié

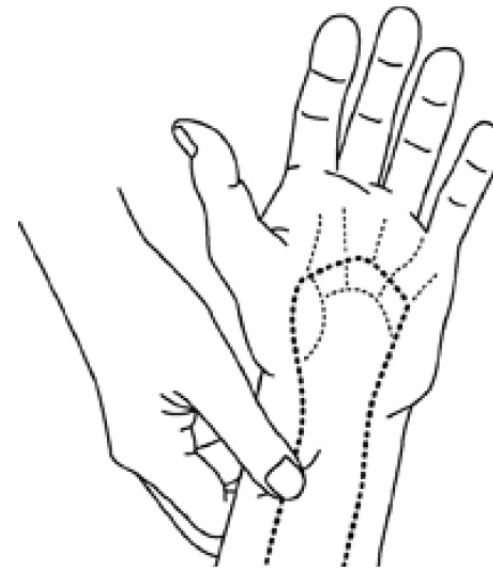
Le test d'Allen modifié mesure la compétence artérielle et doit être pratiqué avant un prélèvement artériel. Pour réaliser ce test, suivre la procédure décrite ci-après (Figure H.1) :

1. Demander au patient de serrer le poing ; s'il n'est pas en mesure de le faire, fermer sa main énergiquement.
2. À l'aide des doigts, appliquer une pression occlusive sur les artères ulnaire et radiale de manière à bloquer la circulation du sang vers la main.
3. Tout en appliquant une pression occlusive sur les deux artères, demander au patient de relâcher sa main et vérifier si la paume et les doigts ont blanchi. Si ce n'est pas le cas, c'est que les artères n'ont pas été complètement obturées par les doigts.

Figure I.1 Test d'Allen



Les pouces bouchent les artères radiale et ulnaire. On observe un blanchiment de la main lorsque le patient serre le poing.



Le pouce obture l'artère radiale pendant que l'artère ulnaire reste relâchée et visible. Le poing desserré retourne à sa couleur de départ grâce à la circulation dans l'artère ulnaire et à la connexion de l'arc **Quelle durée ?**

5.1.2 Complications liées au prélèvement de sang artériel

Le prélèvement de sang artériel peut entraîner diverses complications. La liste ci-après recense certaines des complications liées à cette procédure et les moyens de les prévenir [59] :

- L'*artériospasme* ou contraction involontaire d'une artère peut être prévenu simplement en aidant le patient à se détendre ; cette détente peut être obtenue, par exemple, en expliquant la procédure et en installant la personne confortablement.
- L'*hématome* ou saignement excessif peut être prévenu en introduisant l'aiguille sans perforer le côté distant du vaisseau et en appuyant immédiatement après le prélèvement de sang. En raison de la forte pression régnant dans les artères, il faut appuyer plus longtemps que pour un prélèvement veineux et l'opération doit être supervisée plus étroitement jusqu'à la vérification de l'arrêt du saignement.
- Les *lésions nerveuses* peuvent être prévenues en choisissant un site de prélèvement approprié et en évitant de rediriger l'aiguille.
- L'*évanouissement* ou *réponse vasovagale* peut être prévenu en s'assurant que le patient est en décubitus dorsal (couché sur le dos) avec les pieds surélevés avant de commencer le prélèvement. Les patients nécessitant un prélèvement de sang artériel sont habituellement des personnes hospitalisées ou accueillies dans une salle d'urgence, de sorte qu'elles sont généralement déjà couchées dans un lit d'hôpital. Les enfants peuvent ressentir une perte de contrôle et se débattre davantage s'ils sont placés en décubitus dorsal ; dans un tel cas, il peut être préférable que l'enfant soit assis sur les genoux d'un parent, de manière à ce que celui-ci puisse doucement le maîtriser.
- Parmi les *autres problèmes* pouvant intervenir figurent la chute de la tension artérielle et les plaintes exprimant le malaise, la transpiration et la pâleur précédant la perte de connaissance.

59. American Association for Respiratory Care (AARC), AARC clinical practice guideline. Sampling for arterial blood gas analysis. *Respiratory Care*, 1992. 8(37): p. 891–7.

Ponction artérielle (méthodologie)



Ponction artérielle
Radiale le plus souvent

Assessment of collateral circulation to the hand prior to radial artery harvest

Vascular Medicine
17(5) 352–361 2012

Joseph Habib, Laureen Baetz and Bhagwan Satiani

Table I. Literature review of Allen's test

Author	Year	Conclusion	Time threshold for clinical Allen's test/accuracy/comments
Glavin et al. ²⁴	1989	Unable to confirm benefit of Doppler ultrasound method in assessing adequacy of collateral flow in hands	< 6 s Allen's test vs Doppler ultrasound (sensitivity 0.87, specificity 0.57)
Johnson et. al. ²⁵	1998	Modification to Allen's test using pulse oximetry	12 s (arbitrarily selected)
Jarvis et al. ¹⁹	2000	Allen's test does not perform satisfactorily and should be replaced by more objective tests	6 s (sensitivity 54.5%) 5 s (sensitivity 75.8%) 3 s (sensitivity 100%)
Ruengsakulrach et al. ²¹	2001	Provides validation of the MAT	< 10 s Abnormal MAT found in 5.6% (4/71) of patients
Meharwal et al. ²	2001	MAT and pulse oximetry both used with no case of acute hand ischemia	No time cut-off reported
Sajja ²⁶	2008	Allen's test when combined with pulse oximetry and intraoperative return of RA pulse with proximal occlusion resulted in no cases of hand ischemia	< 6 s False-negative rate was 0.4%
Barbeau et al. ²⁰	2004	Plethysmography and pulse oximetry more sensitive than MAT	< 9 s 6.4% out of 1010 patients had positive MAT
Abu-Omar et al. ²³	2004	Allen's test is a quick, easy and reliable screening test before radial artery harvest	< 5 s 15% (43/287) had abnormal Allen's test
Agrifoglio et al. ²⁷	2005	Clinical Allen's test is not sufficient to assess hand collateral flow	No time cut-off reported
Kohonen et al. ²⁸	2008	Allen's test is a good and valid screening test for the hand	6 s (sensitivity 73.2%, specificity 97.1%)

s, seconds; MAT, modified Allen's test; RA, radial artery.

Test d'Allen modifié: inutile avant simple ponction artérielle

Topical tetracaine prior to arterial puncture: a randomized, placebo-controlled clinical trial [☆]

Shawn D. Aaron^{a,b,*}, Katherine L. Vandemheen^{a,b}, Sheila A. Naftel^{a,b}, Mary-Jo Lewis^{a,b}, Marc A. Rodger^{a,b}

Respiratory Medicine (2003) 97, 1195–1199

Table 2 Study results.

	Tetracaine gel (n = 24)	Placebo gel (n = 26)	P-value
Visual analog pain scale score*	26.2 ± 32.6	23.8 ± 27.4	0.78
Time to successful ABG* (seconds)	70 ± 103	49 ± 48	0.61
≥ 1 Puncture site (%)	6 (25)	4 (15)	0.40
Successful ABG (%)	23 (96)	23 (88)	0.61
Adverse effects (within 24 h)			
Redness	1	1	0.99
Swelling	1	1	0.99
Itching	1	0	0.43
Bruising	0	3	0.25
Any adverse effect	2 (8)	5 (19)	0.44

The visual analog pain scale scores, and the ease of the arterial puncture, were not significantly different in the tetracaine-treated group as compared to the group which received placebo gel. There were no significant differences in adverse effects associated with tetracaine therapy.

*Mean ± SD.

Pas d'intérêt du gel anesthésiant local

Plan

Prise de sang: ponction artérielle

Grandeurs mesurées et calculées

Normes de l'hématose

Interprétation

Paramètres mesurés et calculés

Sont mesurés:

- pH
- pression partielle en O_2 (SaO_2)
- pression partielle en CO_2 (ventilation alvéolaire)

ANALYSEUR	PARAMETRES																		
	pH	pCO ₂	pO ₂	cK ⁺	cNa ⁺	cCa ²⁺	cCl ⁻	cGlu	cLac	cCrea	ctBili	sO ₂	ctHb	FO ₂ Hb	FCOHb	FMetHb	FHHb	FHbF	Hct
ABL90 FLEX	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	
ABL800 FLEX	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
ABL800 BASIC	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•						
ABL80 FLEX CO-OX	•	•	•	•	•	•	•	•				•	•	•	•	•	•		
ABL80 FLEX	•	•	•	•	•	•	•	•											•
ABL80 FLEX BASIC	•	•	•	•	•	•	•	•	•										•
ABL80 FLEX CO-OX version OSM												•	•	•	•	•	•		

Sont calculés:

- concentration en bicarbonates
- $tCO_2 = HCO_3^- + \alpha PCO_2 = CO_2$ total
- BE: base excess (-2 à +2 mEq/L), composante métabolique

Plan

Prise de sang: ponction artérielle

Grandeurs mesurées et calculées

Normes de l'hématose (+ Davenport)

Interprétation

Arterial Blood Gas Reference Values for Sea Level and an Altitude of 1,400 Meters

ROBERT O. CRAPO, ROBERT L. JENSEN, MATHEW HEGEWALD, and DONALD P. TASHKIN

AM J RESPIR CRIT CARE MED 1999;160:1525-1531.

CORRELATION MATRIX FOR BLOOD GAS ANALYTES AND AGE, SEX, HEIGHT, WEIGHT, AND BAROMETRIC PRESSURE

	Age	Sex	Height	Weight	P _B
Pa _O ₂	r ² = 0.173 p < 0.001	r ² = 0.006 p = 0.16	r ² = 0.007 p = 0.13	r ² = 0.081 p < 0.001	r ² = 0.652 p < 0.001
Pa _{CO} ₂	r ² = 0.0002 p = 0.80	r ² = 0.021 p = 0.007	r ² = 0.0004 p = 0.72	r ² = 0.002 p = 0.40	r ² = 0.325 p < 0.001
pH	r ² = 0.019 p = 0.01	r ² = 0.019 p = 0.011	r ² = 0.004 p = 0.26	r ² = 0.002 p = 0.48	r ² = 0.092 p < 0.001
Sa _O ₂	r ² = 0.270 p < 0.001	r ² = 0.002 p = 0.45	r ² = 0.0004 p = 0.70	r ² = 0.083 p < 0.001	r ² = 0.312 p < 0.001
AaP _O ₂	r ² = 0.344 p < 0.001	r ² = 0.004 p = 0.24	r ² = 0.017 p = 0.01	r ² = 0.056 p < 0.001	r ² = 0.041 p < 0.001

PaCO₂: dépend du sexe, PaO₂ dépend de l'âge et du poids

$$X \text{ mmHg} = X/7.5 \text{ kPa}$$

Sea Level					
Age (yr)	n	PaO ₂ (mm Hg)	SaO ₂ (%)	AaPO ₂ (mm Hg)	n
18-24	17	99.9 (5.3)	96.9 (0.4)	2.0 (5.7)	
25-34	19	99.8 (4.9)	96.7 (0.7)	3.3 (4.3)	57
35-44	22	98.3 (7.6)	96.7 (0.6)	4.7 (7.5)	48
45-54	8	97.0 (8.0)	96.5 (1.0)	6.5 (6.4)	48
55-64	8	90.2 (4.5)	95.9 (0.7)	12.1 (3.7)	42
> 64	22	88.7 (10.7)	95.5 (1.4)	14.8 (8.8)	48

* Values are means with SD shown in parentheses.

pH normal
7.35 à 7.45

Sex	n	Paco ₂ (mm Hg)
Male	44	38.1 (3.3)
Female	52	36.8 (2.9)

PaCO₂ normale:
35-45 mmHg

PaO₂ normale: 70-100 mmHg, SaO₂: 93-98% (avant 75 ans)

Cerveri, AJRCCM, 1995

Limite inférieure de la normale à partir de 75 ans: 68.4 mmHg
(valeur stable ensuite)

Increase in Pulmonary Ventilation-Perfusion Inequality with Age in Healthy Individuals

JAUME CARDÚS, FELIP BURGOS, ORLANDO DIAZ, JOSEP ROCA, JOAN ALBERT BARBERA, RAMÓN M. MARRADES, ROBERT RODRIGUEZ-ROISIN, and PETER D. WAGNER

AM J RESPIR CRIT CARE MED 1997;156:648-653.

Hétérogénéités des rapports \dot{V}_A/\dot{Q} avec âge croissant
Diminution physiologique de la PaO_2

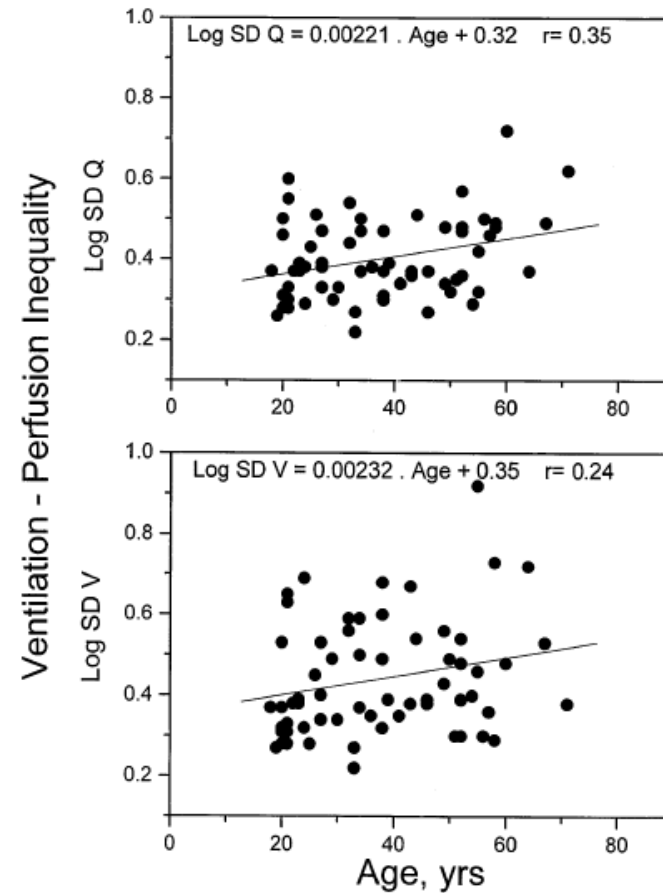


Figure 1. Ventilation-perfusion (\dot{V}_A/\dot{Q}) inequality increases with age. *Upper panel* shows a slight increase in dispersion of the blood flow distribution (log SDQ) with age, and *lower panel* a similar increase for the ventilation distribution (log SDV). In each graph, the regression line is indicated by a continuous line.

Equilibre acido-basique

SYSTEME BICARBONATE/ACIDE CARBONIQUE :
SYSTEME TAMPON OUVERT

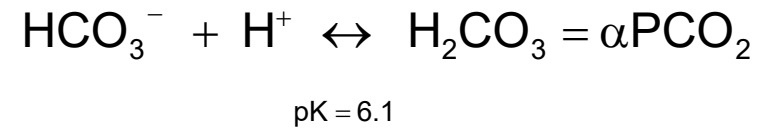
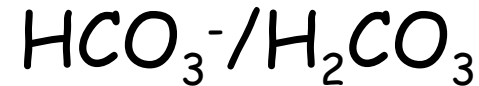
Masse variable



Régulation indépendante
des 2 concentrations

$[HCO_3^-]$ → Régulation rénale

$[pCO_2]$ → Régulation poumon



$$pH = pK + \log \frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$$

$$pH = 6,1 + \log \frac{[HCO_3^-]}{[0,0301 \times pCO_2]}$$

$$7,4 = 6,1 + \log \frac{24}{0,03 \times 40} \left(\frac{20}{1} \right)$$

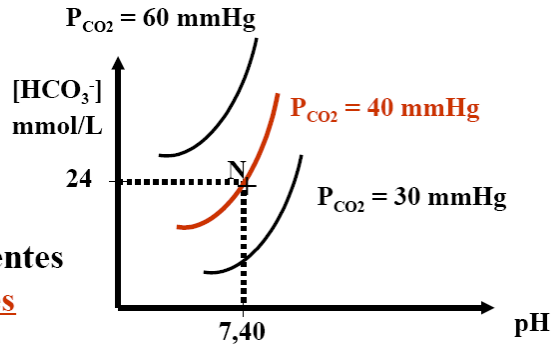
Equation d'Henderson - Hasselbach

Systeme tampon ouvert:

Henderson-Hasselbach : $[HCO_3^-] = a P_{CO_2} 10^{pH - 6,1}$

$P_{CO_2} = cste \rightarrow [HCO_3^-] = k 10^{pH - 6,1}$

D'où une famille de courbes exponentielles correspondant à différentes P_{CO_2} et appelées **isobares**



Systeme tampons fermés:

- L'acide volatil CO_{2d} est tamponné uniquement par les tampons fermés.



- On se déplace sur la courbe de titration des tampons fermés.

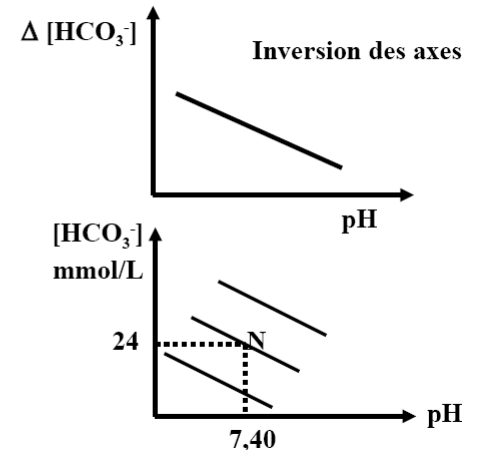
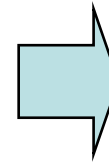
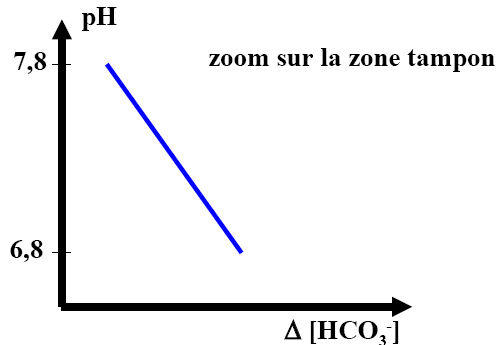
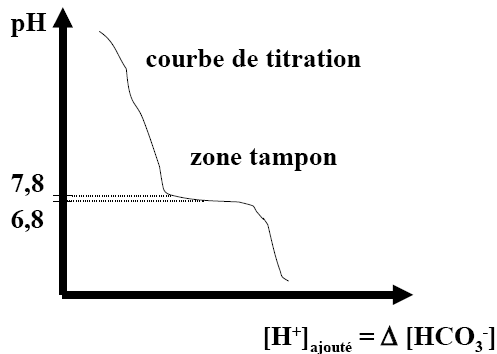


Diagramme de Davenport

Troubles respiratoires aigus:

Concentration acide fixe normale

Déplacement sur la DNE

- $\text{pH} < 7.38/7.35$: acidose
- $\text{PaCO}_2 > 45$ mmHg
- hypoventilation alvéolaire
- urgence respiratoire
- $\text{BE} = 0$ mEq/L

- $\text{pH} > 7.42/7.45$: alcalose
- $\text{PaCO}_2 < 35$ mmHg
- hyperventilation alvéolaire
- $\text{BE} = 0$ mEq/L

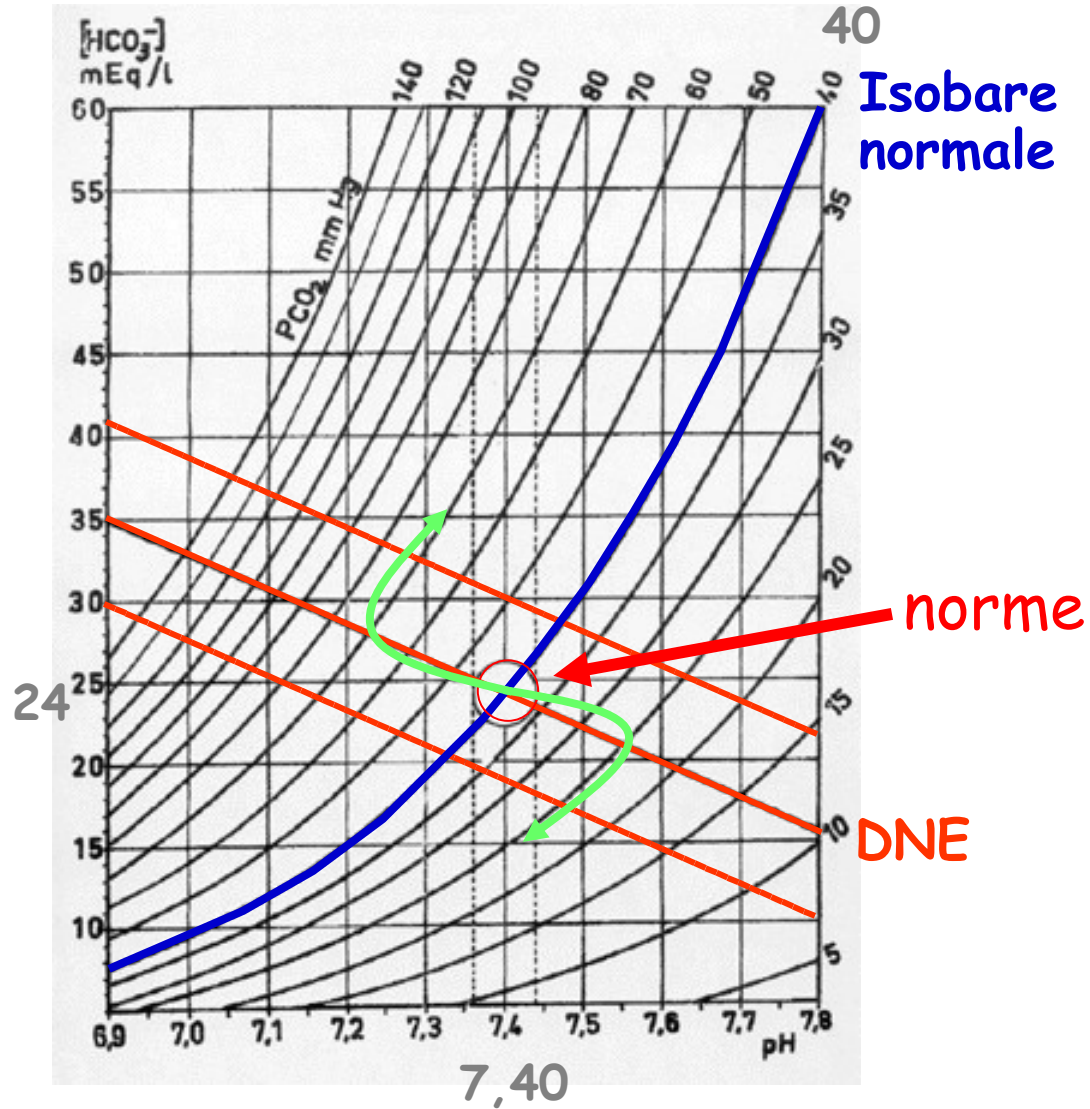
Troubles respir. chroniques:

Compensation rénale (jours)

Variation conc. acide fixe

- acidose resp. chronique
- ↗ élimination H^+ rein
- au dessus DNE: $\text{BE} > +2$ mEq/L

- alcalose resp. chronique
- au dessous DNE: $\text{BE} < -2$ mEq/L



DNE: droite normale d'équilibration du CO_2 (conc. cste d'acide fixe)

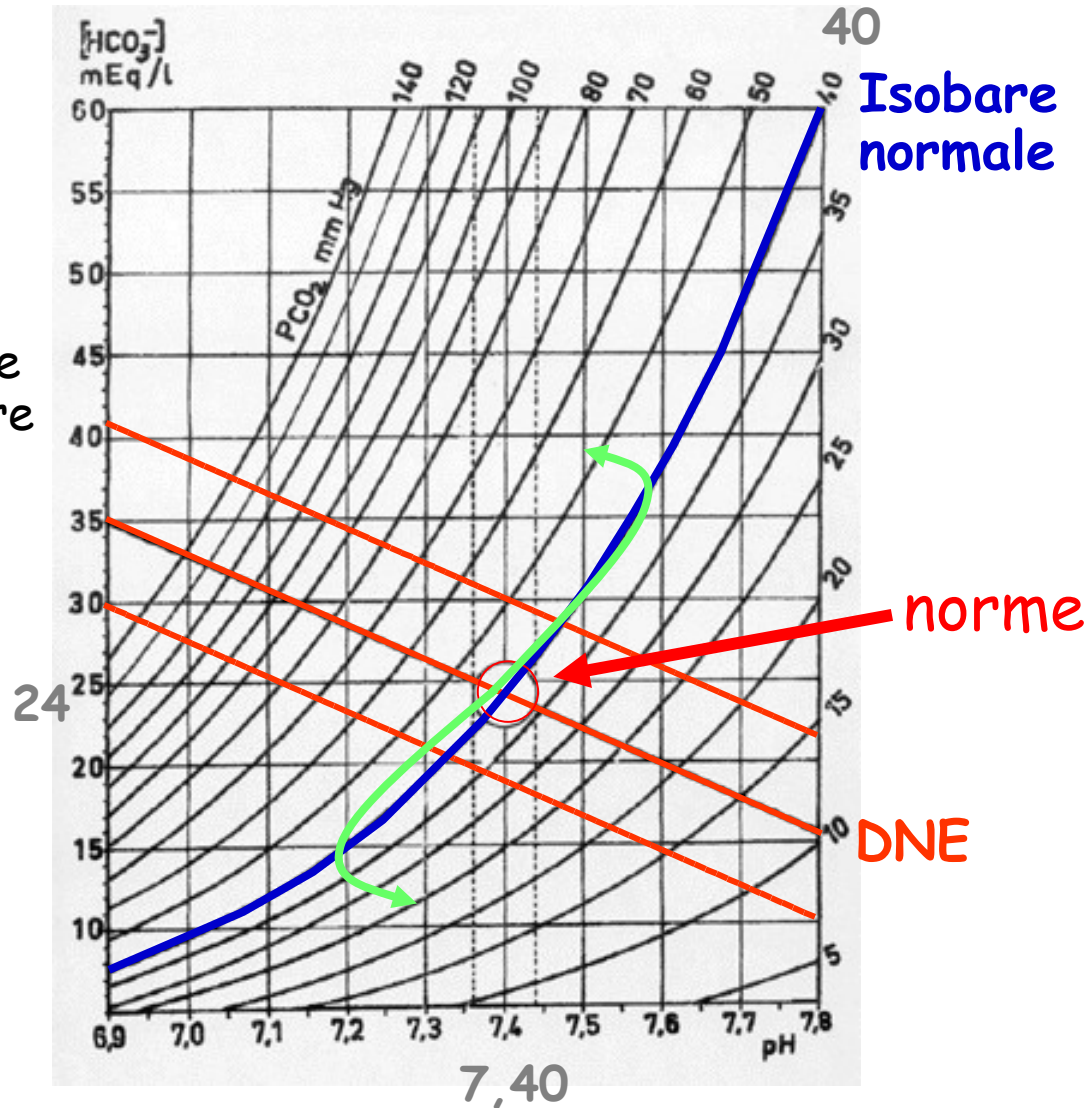
Diagramme de Davenport

Troubles métaboliques:

Concentration acide fixe anormale
Déplacement initial sur l'isobare nle
Et rapide compensation respiratoire

- pH < 7.38/7,35: acidose
- PaCO₂ < 35 mmHg
- hyperventilation alvéolaire
- BE < - 2 mEq/L

- pH > 7.42/7,45: alcalose
- PaCO₂ > 45 mmHg
- hypoventilation alvéolaire
- BE > + 2 mEq/L



DNE: droite normale d'équilibration du CO₂ (conc. cste d'acide fixe)

Base excess (excès basique)

Excès de base: quantité d'acide fort devant être ajoutée à chaque litre de sang oxygéné pour atteindre un pH de 7.40 à une température de 37°C et une PaCO₂ de 40 mmHg

BE réel: BE calculé pour le sang

BE standard: BE calculé pour une valeur d'Hb à 5 g/dL
(= même volume de distribution que HCO³⁻ = VEC)

$$\text{BE} = (1 - 0.0143 \times \text{Hb}) \times [(0.0304 \times \text{PCO}_2 \times 10^{(\text{pH}-6.1)} - 24.26) + (9.5 + 1.63 \times \text{Hb}) \times (\text{pH} - 7.4)] - 0.2 \times \text{Hb} \times (1 - \text{SaO}_2)$$

(en mEq/L)

Clin Chem Lab Med. 2002 Apr;40(4):404-10.

The accuracy of calculated base excess in blood.

Lang W, Zander R.

acidose métab. < -2 mEq/L à +2 mEq/L > alcalose métab.

Plan

Prise de sang: ponction artérielle

Grandeurs mesurées et calculées

Normes de l'hématose

Interprétation et cas cliniques

Avant d'interpréter un gaz du sang

11. Expulser les bulles d'air, boucher la seringue et faire rouler l'échantillon entre les mains pour le mélanger en douceur. Boucher la seringue pour éviter un contact entre le sang artériel et l'air et pour prévenir les fuites pendant le transport vers le laboratoire.

Précisions utiles ?

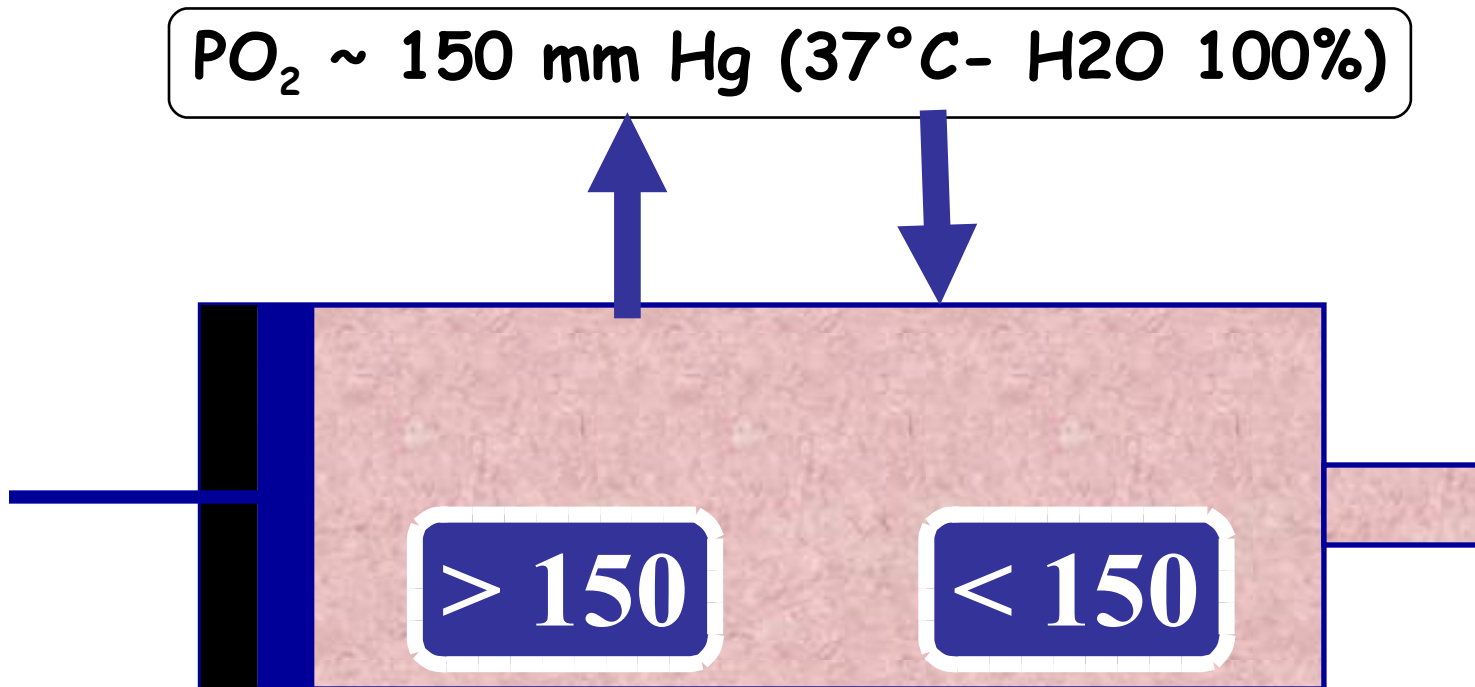
16. Transporter immédiatement l'échantillon au laboratoire en respectant la procédure de manipulation de celui-ci.

Erreur pré-analytique

Conditions de réalisation des gaz du sang

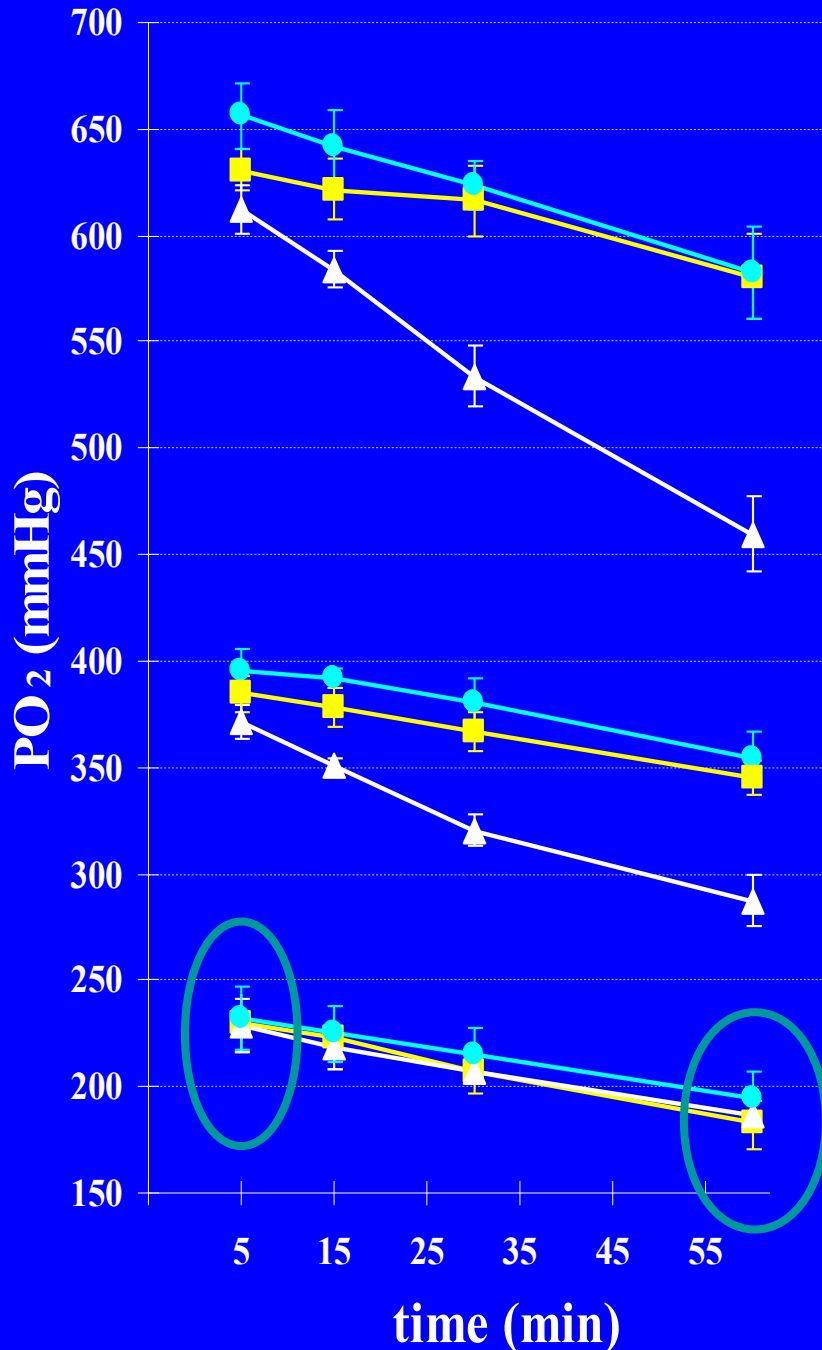
$$P_{O_2} = (P_{ATM} - P_{H_2O}) \times FIO_2 = 150 \text{ mmHg}$$

Gradient de pression et si paroi perméable aux gaz: échanges



d'Ortho MP, Delclaux C,
Chest, 1999

Température
d'attente
= 23°C

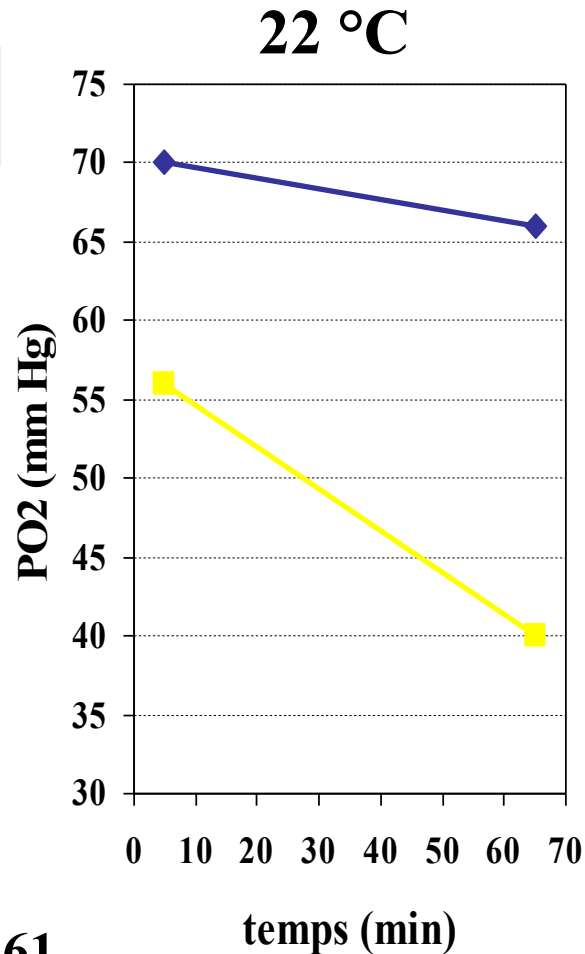
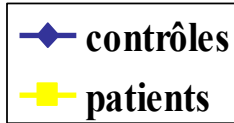


- seringue verre
- capillaire verre
- ▲ seringue plastique

*Importance
fonctionnelle:
Pour les GdSang
réalisés en
hyperoxie*

froid ⇒ arrêt du métabolisme des cellules sanguines

- Hyperleucocytose jusqu'à 300 000/mm³
- Thrombocytose jusqu'à 1 300 000/mm³



Hess, NEJM, 1979,361

Importance fonctionnelle: hématologie

Cas clinique

Jeune homme de 20 ans admis au SAU pour overdose
Bradypnée: FR 8 /mn

Gaz du sang:

pH = 7.20, PCO₂ = 60 mmHg, BE = 0 mEq/L

PO₂ = 70 mmHg

Diagnostic du trouble acido-basique

Diagnostic du trouble de l'hématose

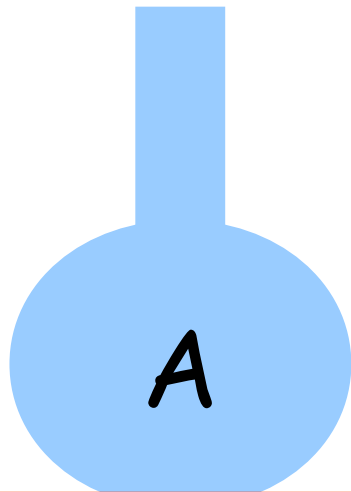
Comment interpréter l'hématose lorsque le niveau de ventilation alvéolaire est anormal ?

Calcul de la différence alvéolo-artérielle

Différence entre la pression alvéolaire théorique en O_2 (avec laquelle s'équilibre la pression artérielle) et la pression artérielle en O_2 mesurée (gaz du sang)

Brefs rappels

$$P_{IO_2} = (P_{atm} - P_{H_2O}) \times F_{IO_2} = (760 - 47) \times 0.21 \sim 150 \text{ mmHg}$$



Gaz alvéolaire = AA + vapeur d'eau + CO₂
PAO₂ dépend de la façon dont est renouvelé le gaz alvéolaire (ventilation alvéolaire)

PAO₂ = Pression alvéolaire en O₂



PcapO₂ = Pression capillaire pulmonaire

PcapO₂ ~ PAO₂ si diffusion normale
AaPO₂ quasi nulle à 20 ans (2 mmHg)

		Sea Level				
Age (yr)	n	PaO ₂ (mm Hg)	SaO ₂ (%)	a-aPO ₂ (mm Hg)	n	
18-24	17	99.9 (5.3)	96.9 (0.4)	2.0 (5.7)		
25-34	19	99.8 (4.9)	96.7 (0.7)	3.3 (4.3)	57	
35-44	22	98.3 (7.6)	96.7 (0.6)	4.7 (7.5)	48	
45-54	8	97.0 (8.0)	96.5 (1.0)	6.5 (6.4)	48	
55-64	8	90.2 (4.5)	95.9 (0.7)	12.1 (3.7)	42	
> 64	22	88.7 (10.7)	95.5 (1.4)	14.8 (8.8)	48	

Sex	n	PaCO ₂ (mm Hg)
Male	44	38.1 (3.3)
Female	52	36.8 (2.9)

PaCO₂ normale:
35-45 mmHg

* Values are means with SD shown in parentheses.

PaO₂ normale: 70-100 mmHg, SaO₂: 93-98% (avant 75 ans)

Différence alvéolo-artérielle croissante avec l'âge

Pression alvéolaire en oxygène (équation simplifiée des gaz alvéolaires)

$$PAO_2 \approx PIO_2 - (PACO_2 / 0,8)$$

Quotient respiratoire : QR

Différence alvéolo-artérielle:

PAO₂ calculée - PaO₂ mesurée

En air ambiant:

Norme: 0 à 30 mmHg (fonction de l'âge)

Augmentation: hypoxémie avec **altération échangeur**

- hétérogénéité des rapports ventilation/perfusion
- shunt
- trouble de diffusion

Comment raisonner devant une hypoxémie ?

Calcul de la $D(A-a)O_2$

$D(A-a)O_2$
normale
=
↘ PAO_2
alvéolaire

$D(A-a)O_2 \nearrow$
=
 PAO_2 alvéolaire
normale

$PaCO_2$ normale
• $FIO_2 < 21\%$
• $P_{ATM} < 760$ mmHg

$PaCO_2 \nearrow$
hypoventilation
alvéolaire

- trouble diffusion
- hétérogénéité VA/Q
- shunt

Insuffisance respiratoire chronique: incapacité du système respiratoire à assurer le maintien d'une hématoxémie normale

Cas clinique

Jeune homme de 20 ans admis au SAU pour overdose
Bradypnée: FR 8 /mn

Gaz du sang:

pH = 7.20, PCO₂ = 60 mmHg, BE = 0 mEq/L

PO₂ = 70 mmHg

Diagnostic du trouble acido-basique

Diagnostic du trouble de l'hématose

pH < 7.35 : acidose

BE normal: pas de composante métabolique

Acidose respiratoire aigue

AaPO₂ = 5 mmHg

Hypoventilation alvéolaire pure

hypoxémie liée à l'absence de renouvellement suffisant
du gaz alvéolaire (bradypnée: dépression ventilatoire centrale)

Échangeur gazeux normal

Hypercapnie = hypoventilation alvéolaire

Car:

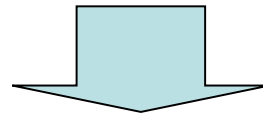
$$V'CO_2 = k \times PACO_2 \times V'A$$

Hypocapnie = hyperventilation alvéolaire

Comment raisonner devant un trouble acido-basique ?

Trois méthodes sont proposées:

- approche physiologique (Berend K, NEJM, 2014)
- approche utilisant l'excès de base
- approche physico-chimique (méthode de Stewart) (Seifter J, NEJM, 2014)



The NEW ENGLAND JOURNAL of MEDICINE
Physiological Approach to Assessment
of Acid–Base Disturbances

Kenrick Berend, M.D., Ph.D., Aiko P.J. de Vries, M.D., Ph.D.,
and Rijk O.B. Gans, M.D., Ph.D.

Acidemia
pH <7.38

Metabolic acidosis
 $\text{HCO}_3^- < 22$ mmol/liter

Secondary (respiratory) response
Calculate expected $\text{Paco}_2: 1.5 \times [\text{HCO}_3^-] + 8 \pm 2$ mm Hg
Observe measured values
 Paco_2 lower than expected: additional respiratory alkalosis
 Paco_2 higher than expected: additional respiratory acidosis

Anion gap: $([\text{Na}^+] - [\text{Cl}^-] - [\text{HCO}_3^-])$
(reference value is analyzer-specific)
Correct for albumin: for every 1 g/dl albumin decrease, increase calculated anion gap by 2.5 mmol/liter

Normal anion gap:
Calculate urinary anion gap
 $([\text{Na}^+] + [\text{K}^+] - [\text{Cl}^-])$
If urinary pH > 6.5, or urinary $[\text{Na}^+] < 20$ mmol/liter:
evaluate urinary osmolal gap

High anion gap
(e.g., lactate, keto acids,
toxic alcohols)

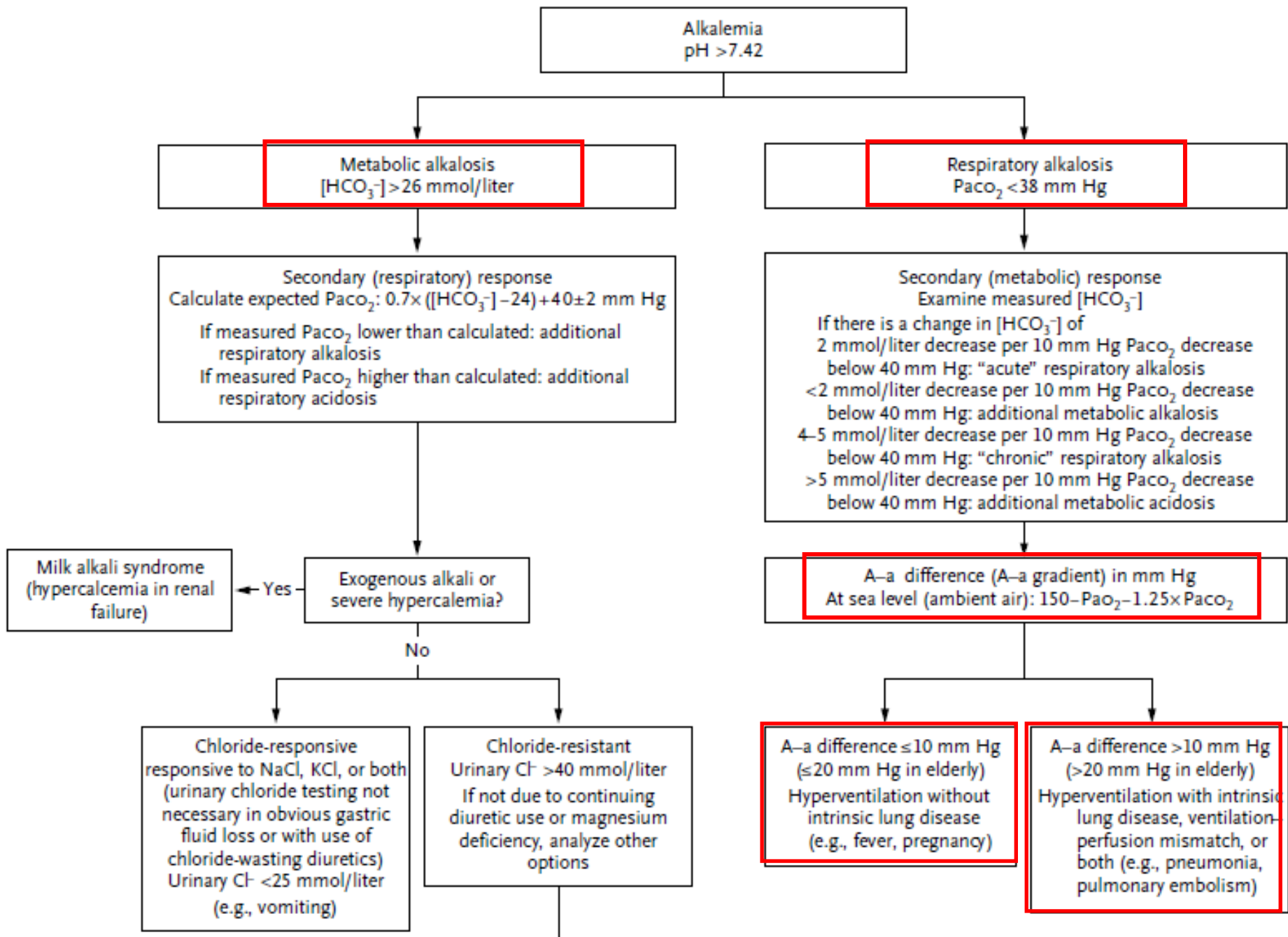
Respiratory acidosis
 $\text{Paco}_2 > 42$ mm Hg

Secondary (metabolic) response
Observe measured $[\text{HCO}_3^-]$
If there is a change in $[\text{HCO}_3^-]$ of
1 mmol/liter increase per 10 mm Hg Paco_2 increase above 40 mm Hg: "acute" respiratory acidosis
<1 mmol/liter increase per 10 mm Hg Paco_2 increase above 40 mm Hg: additional metabolic acidosis
4–5 mmol/liter increase per 10 mm Hg Paco_2 increase above 40 mm Hg: "chronic" respiratory acidosis
>5 mmol/liter increase per 10 mm Hg Paco_2 increase above 40 mm Hg: additional metabolic alkalosis

A–a difference (A–a gradient) in mm Hg
At sea level (ambient air):
 $150 - \text{Pao}_2 - 1.25 \times \text{Paco}_2$

A–a difference ≤ 10 mm Hg
(≤ 20 mm Hg in elderly)
Hypoventilation without
intrinsic lung disease

A–a difference > 10 mm Hg
(> 20 mm Hg in elderly)
Hypoventilation with
intrinsic lung disease,
ventilation–perfusion
mismatch, or both



CAS CLINIQUE

Patient en réanimation

Intubé, sédaté, sous ventilation mécanique

Infiltrats bilatéraux à la RP

Echographie cardiaque normale

Gaz du sang en FIO₂ 100%

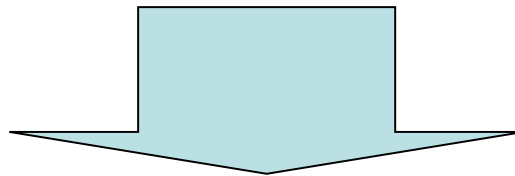
PaO₂: 180 mmHg, PaCO₂: 40 mmHg, pH=7.40

Diagnostic gazométrique ?

Patient en réanimation
Intubaté, sédaté, sous ventilation mécanique
Infiltrats bilatéraux à la RP
Echographie cardiaque normale

Gaz du sang en FIO₂ 100%

PaO₂: 180 mmHg, PaCO₂: 40 mmHg, pH=7.40



Equation des gaz alvéolaires
Calcul de la PaO₂ théorique sur poumon sain

Pression alvéolaire en oxygène (équation simplifiée des gaz alvéolaires)

$$PAO_2 \approx PIO_2 - (PACO_2 / 0,8)$$

Quotient respiratoire : QR

QR : rapport $\dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2$

Dépend du type d'aliment métabolisé

QR normal : 0,82

Glucides, QR = 1

Lipides, QR = 0,7

FIO₂ 100%: PAO₂ \approx 713 - 50 \approx 660 mmHg

On peut « affirmer » l'anomalie quand < 500 - 550 mmHg

Donc patient en « hypoxémie » réfractaire: SDRA

Cas clinique:

Un diabétique de 20 ans est admis aux urgences
Décompensation acido-cétosique
Il est fébrile, il tousse

Gaz du sang en air ambiant:

$\text{PaO}_2 = 90 \text{ mmHg}$; $\text{PaCO}_2 = 20 \text{ mmHg}$

$\text{pH} = 7.28$, $\text{HCO}_3^- = 10 \text{ mEq/L}$, $\text{BE} = -10 \text{ mEq/L}$

Ce patient présente-t-il un trouble de l'hématose
et/ou un trouble acido-basique ?

Justifiez votre réponse...

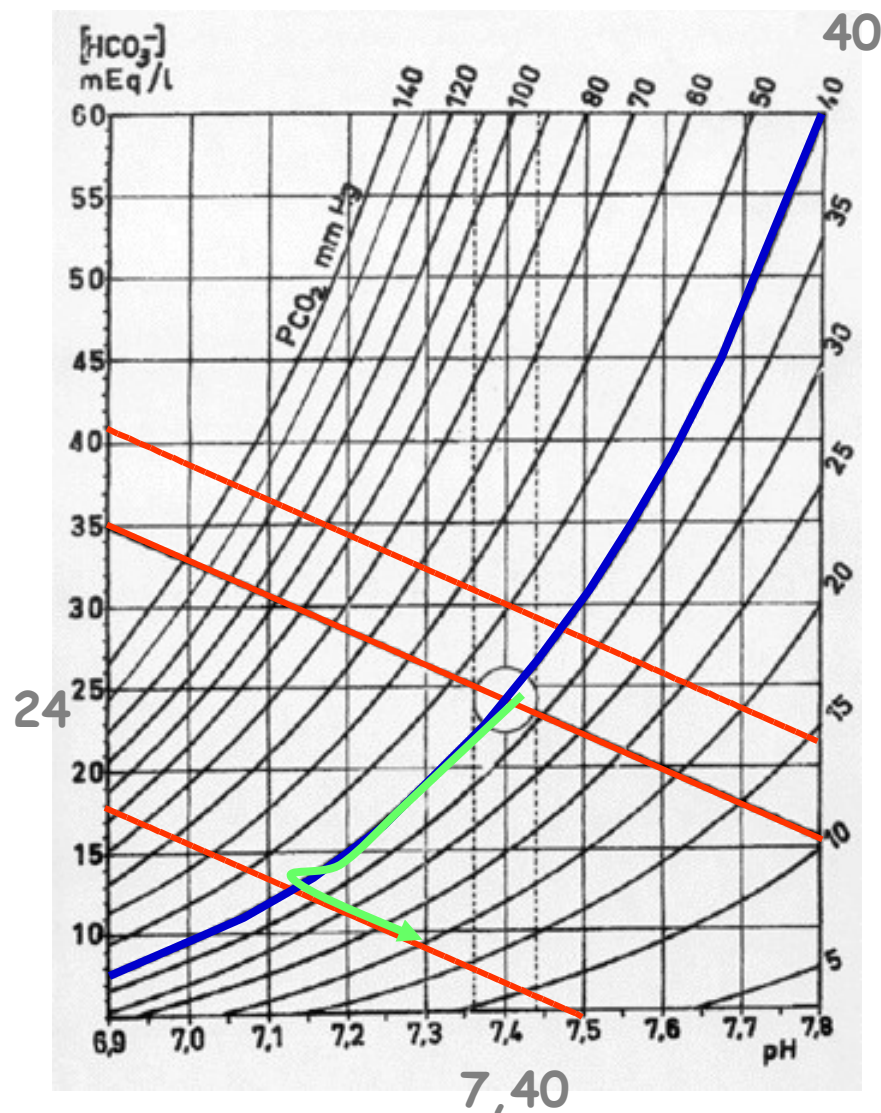
Réponses

calcul de la différence
alvéolo-artérielle
= 35 mmHg
donc patient hypoxémique

diminution de PaO₂ «non
visible» du fait de
l'hyperventilation alvéolaire
liée à l'acidose métabolique

fébrile et touse: suspicion
de pneumopathie
mécanisme de l'hypoxémie ?
hétérogénéité des rapports
V_A/Q, voire shunt vrai si
grave (œdème alvéolaire)

Acidose métabolique (BE -10)
Avec faible compensation
respiratoire (hyperventilation)



Cas clinique

Patient de 60 ans ancien fumeur, diagnostic de BPCO
Dégradation clinique dans un contexte de surinfection
bronchique

Gazométrie artérielle:

pH = 7.35, PCO₂ = 60 mmHg, BE = +7 mEq/L

PO₂ = 40 mmHg

Diagnostic du trouble acido-basique

Diagnostic du trouble de l'hématose

Discrète acidose globale (limite inf. pH)
Hypoventilation alvéolaire: acidose respiratoire
BE alcalin, donc compensation métabolique partielle

Diagnostic acido-basique:

Acidose respiratoire nette
avec compensation métabolique modérée (HCO_3^- ↗)

Hématose:

Hypoxémie + hypercapnie: **hypoventilation alvéolaire**

$D(A-a)O_2$: 35 mmHg

Augmentation $D(A-a)O_2$: poumon malade

- **Hétérogénéité VA/Q**

- shunt

- trouble diffusion

Diagnostic: insuffisance respiratoire aigüe sur IRC

Mécanismes des hypoxémies

Hypoventilation alvéolaire

- $\text{PaCO}_2 > 45 \text{ mmHg}$

Anomalie de la diffusion

- transfert du CO anormal
- diminution de PaO_2 à l'exercice

Shunt

- épreuve d'oxygène pur
- $\text{PaO}_2 < 500 \text{ mmHg}$ avec $\text{FIO}_2 100\%$

Effet shunt / Hétérogénéité de distribution des \dot{V}_A/Q

- mécanisme le plus fréquent
- augmentation de PaO_2 à l'exercice

Plan

Prise de sang: ponction artérielle

Grandeurs mesurées et calculées
Normes de l'hématose

Interprétation

Indications

Recommandations pour la pratique clinique concernant les explorations fonctionnelles respiratoires 2008–2010

Revue des Maladies Respiratoires (2011) 28, 1183–1192

Place des EFR dans le diagnostic et le suivi de l'asthmatique

- Faut-il faire une mesure de l'oxymétrie de pouls (SpO_2) ou une mesure des gaz du sang lors d'une exacerbation d'asthme ?
 - il est proposé de réaliser une gazométrie artérielle en cas d'asthme aigu grave, de SpO_2 inférieure à 92 % et/ou en l'absence d'évolution clinique favorable (G2) ;

Place des EFR dans le diagnostic et le suivi des pathologies interstitielles

- une mesure des gaz du sang au repos avec estimation de la différence alvéolo-artérielle en oxygène doit être réalisée lors du bilan initial (G1) ;

Quand et comment explorer les sujets obèses ?

- Une exploration fonctionnelle respiratoire chez le sujet obèse doit comporter la mesure des volumes, des débits et des gaz du sang au repos (G1) ;

Indications des EFR dans le bilan préopératoire de l'adulte

Faut-il faire une évaluation fonctionnelle respiratoire préopératoire en chirurgie thoracique et autres chirurgies ?

- Il est recommandé de réaliser une EFR (volumes pulmonaires, débits bronchiques, DLCO, gaz du sang) en cas de chirurgie d'exérèse pulmonaire (G1), en cas de chirurgie cardiaque réalisée par sternotomie classique (G1) et en cas de ministernotomie (G2) ;
- il est recommandé de réaliser une EFR (volumes pulmonaires, débits bronchiques, gaz du sang) en cas de chirurgie de la tête et du cou et artérielle périphérique (G1) ;
- quels que soient les antécédents respiratoires du patient, il est recommandé de pratiquer une EFR (volumes pulmonaires, débits bronchiques, gaz du sang) en cas de chirurgie abdominale haute (G1). Ces mêmes examens pourront être pratiqués en cas de chirurgie abdominale basse (G2). Il n'est pas recommandé de faire une EFR avant cœliochirurgie (G1) ;
- il n'est pas recommandé de faire une EFR (volumes pulmonaires, débits bronchiques) en chirurgie orthopédique, sauf facteur de risque respiratoire associé (G1) ;
- il est recommandé d'appliquer les mêmes recommandations quel que soit le type d'anesthésie, générale, rachidienne ou bloc périphérique (G1).

De façon étonnante les recommandations données par les sociétés d'anesthésistes, se basant sur la même littérature, sont très différentes (peu d'indication aux EFR préopératoires hors chirurgie pulmonaire)

Recommandation pour la Pratique Clinique

Prise en charge de la BPCO Mise à jour 2009

Thèmes mis à jour :
Définitions, classification, mortalité et facteurs pronostiques
Traitement pharmacologique incluant le sevrage tabacologique
Réhabilitation du malade atteint de BPCO

Revue des Maladies Respiratoires (2010) 27, 522–548

Tableau 1 : Classification spirométrique de la BPCO en stades de sévérité.

Classification de la BPCO en stades de sévérité		
Stade I : léger	VEMS/CVF < 70 %	VEMS \geq 80 % valeur prédite
Stade II : modéré		50 % \leq VEMS < 80 % valeur prédite
Stade III : sévère		30 % \leq VEMS < 50 % valeur prédite
Stade IV : très sévère		VEMS < 30 % valeur prédite ou VEMS < 50 % valeur prédite avec insuffisance respiratoire chronique grave

Discuter la réalisation d'une gazométrie artérielle
si VEMS < 50% et/ou SpO2 \leq 92%

FÉVRIER 2012

Bronchopneumopathie chronique obstructive

Suivi minimal des patients selon le stade de gravité en dehors des exacerbations

	Stade I	Stade II	Stades III et IV patient sans OLD*	Stade IV patient sous OLD et/ ou VNI† à l'état stable
Examens complémentaires et fréquence	■ EFR : à un rythme adapté à l'état clinique du patient			
	■ Gaz du sang si aggravation		■ Gaz du sang si aggravation ■ Une fois par an NFS plaquettes	■ Gaz du sang : 2 fois /an et plus si aggravation

BPCO: gaz du sang si aggravation

Cyanose

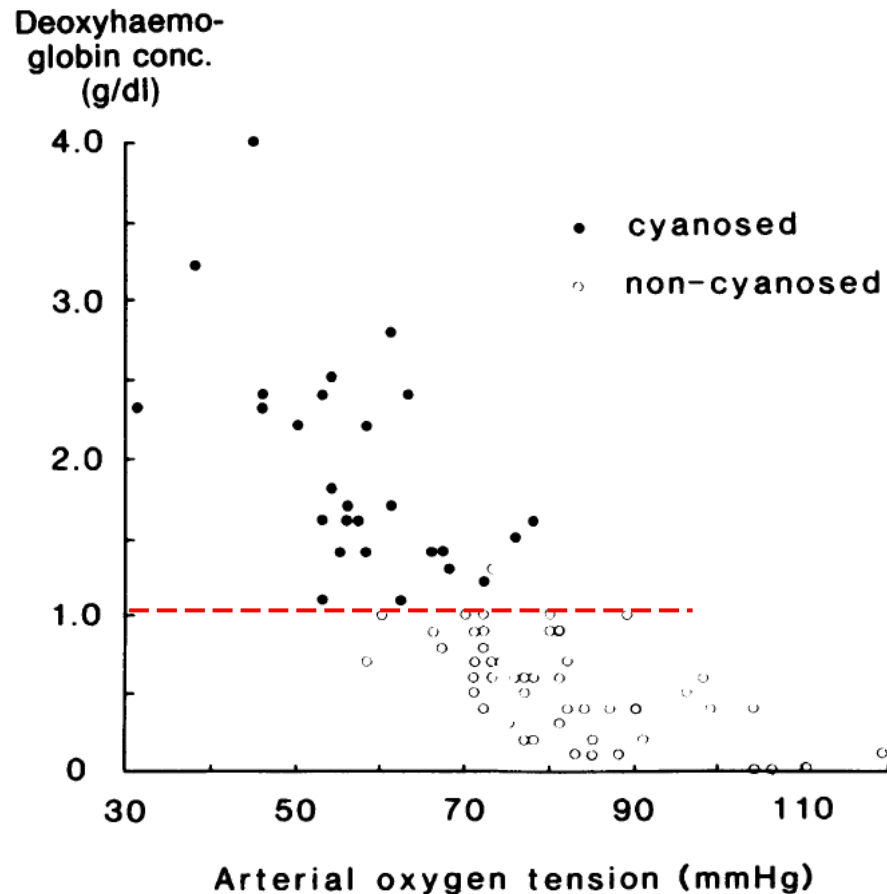


La cyanose apparaît en cas de présence de + de 5g d'Hb réduite / 100ml de sang capillaire

Cyanose (versus sang artériel, mesure)

Cyanose centrale: desoxyHb > 5 g/dL sang capillaire (calcul)
(définition de Lundsgaard, 1923)

Thorax 1988;43:212–213



*En pratique cyanose
souvent visible qd
SpO2 < 85%
(mais ni sensible ni
spécifique pour
détecter hypoxémie)*

Deoxyhaemoglobin concentrations in the detection of central cyanosis

GERALDINE A GOSS, JENNIFER A HAYES, JONATHAN G W BURDON

Gaz du sang si:

- SpO₂ < LIN pour l'âge (toujours si < 93%)
- SpO₂ normale mais hyperventilation franche
- Cyanose

Hypoxémie ± hypercapnie = insuffisance respiratoire



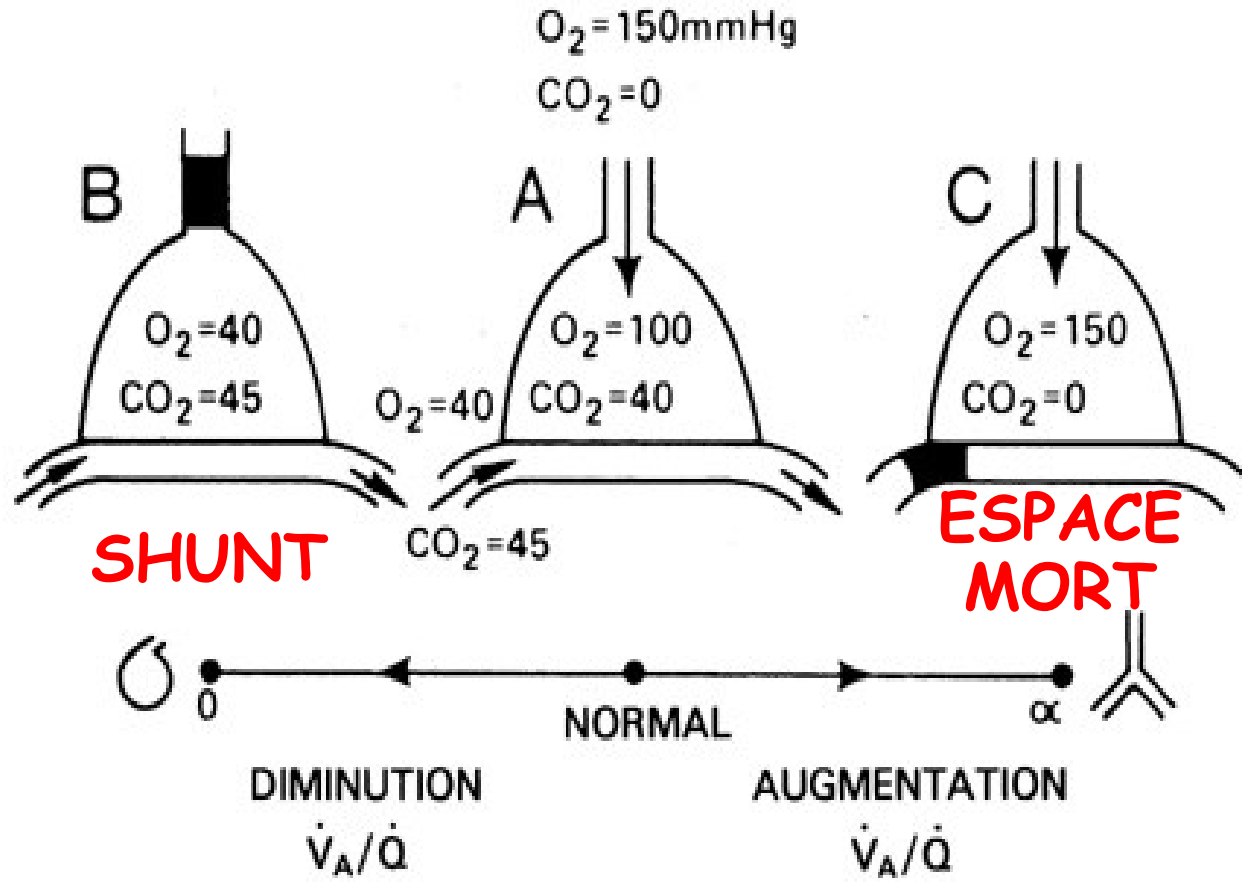
Organisation
mondiale de la Santé




Mettre une blouse ou un tablier imperméable et une protection faciale si l'on s'attend à être exposé au sang.


Merci de votre attention !

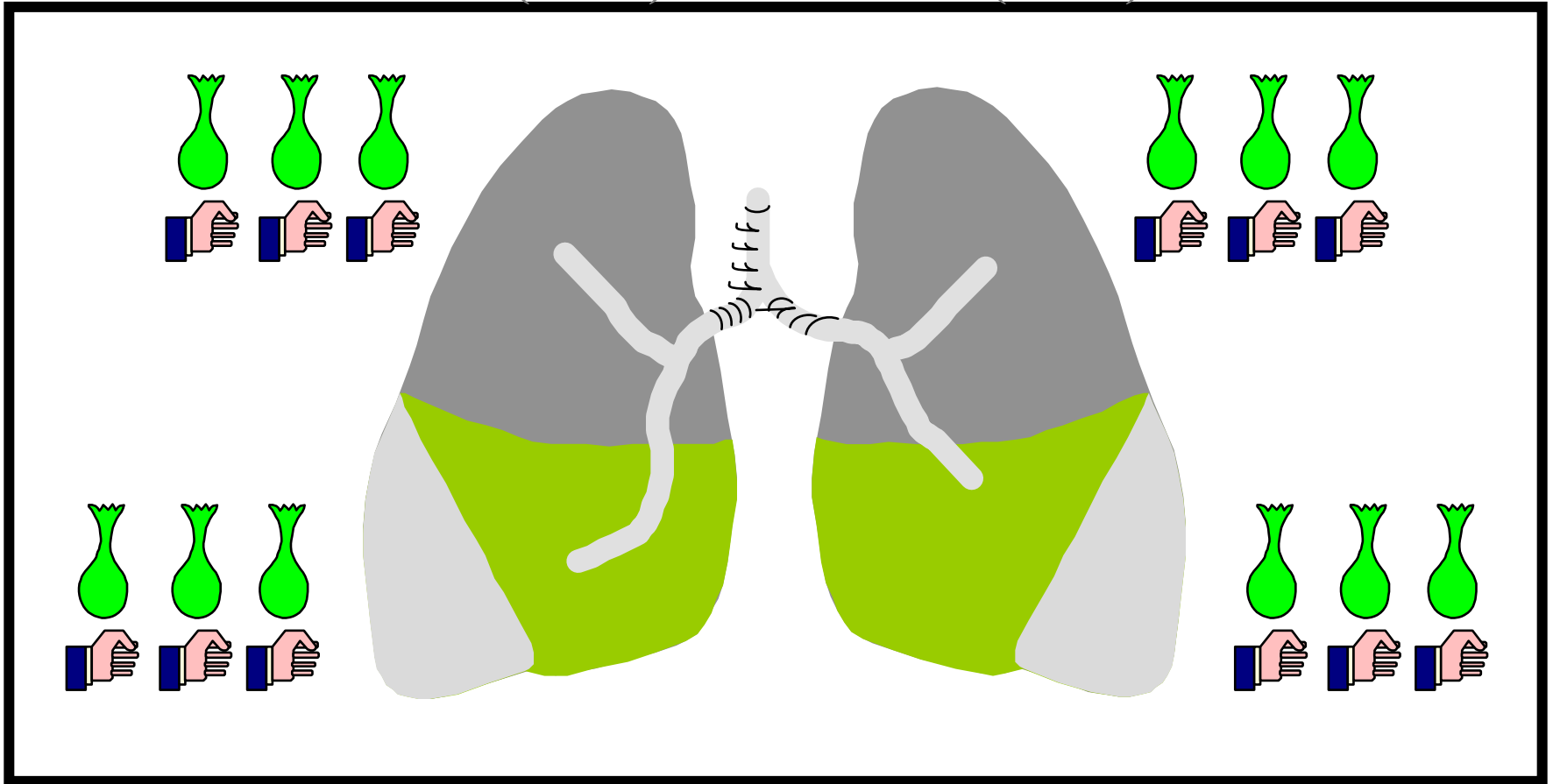
Mécanisme d'hypoxémie: hétérogénéité des rapports V_A/Q *mécanisme le plus fréquent*



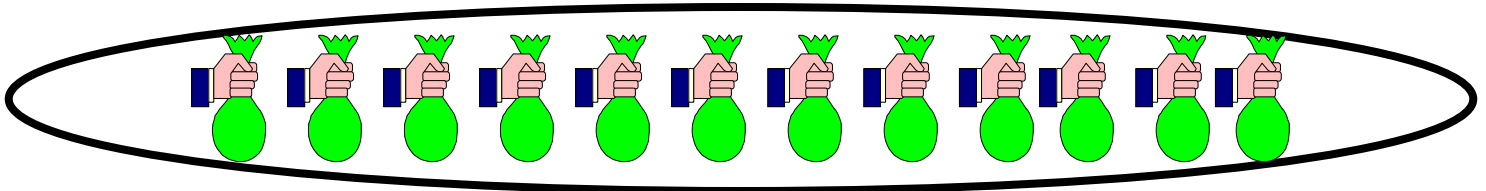
Hypoxémie avec normo ou hypocapnie


 = ventilation
(n=12)


 = circulation
(n=12)

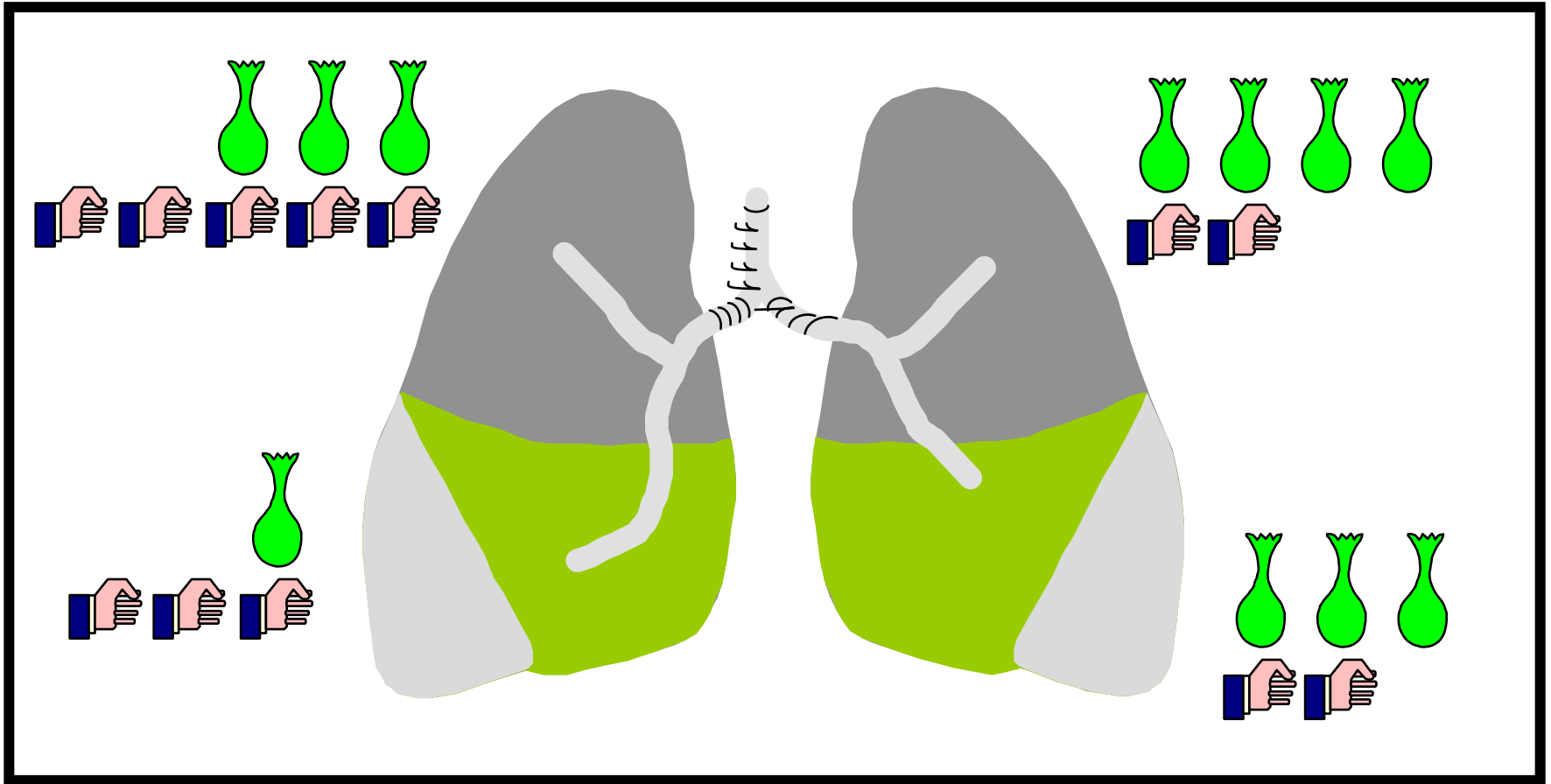


n=12

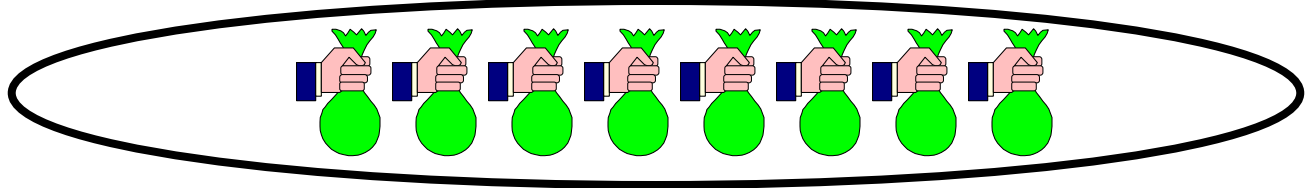


 = ventilation
(n=12)

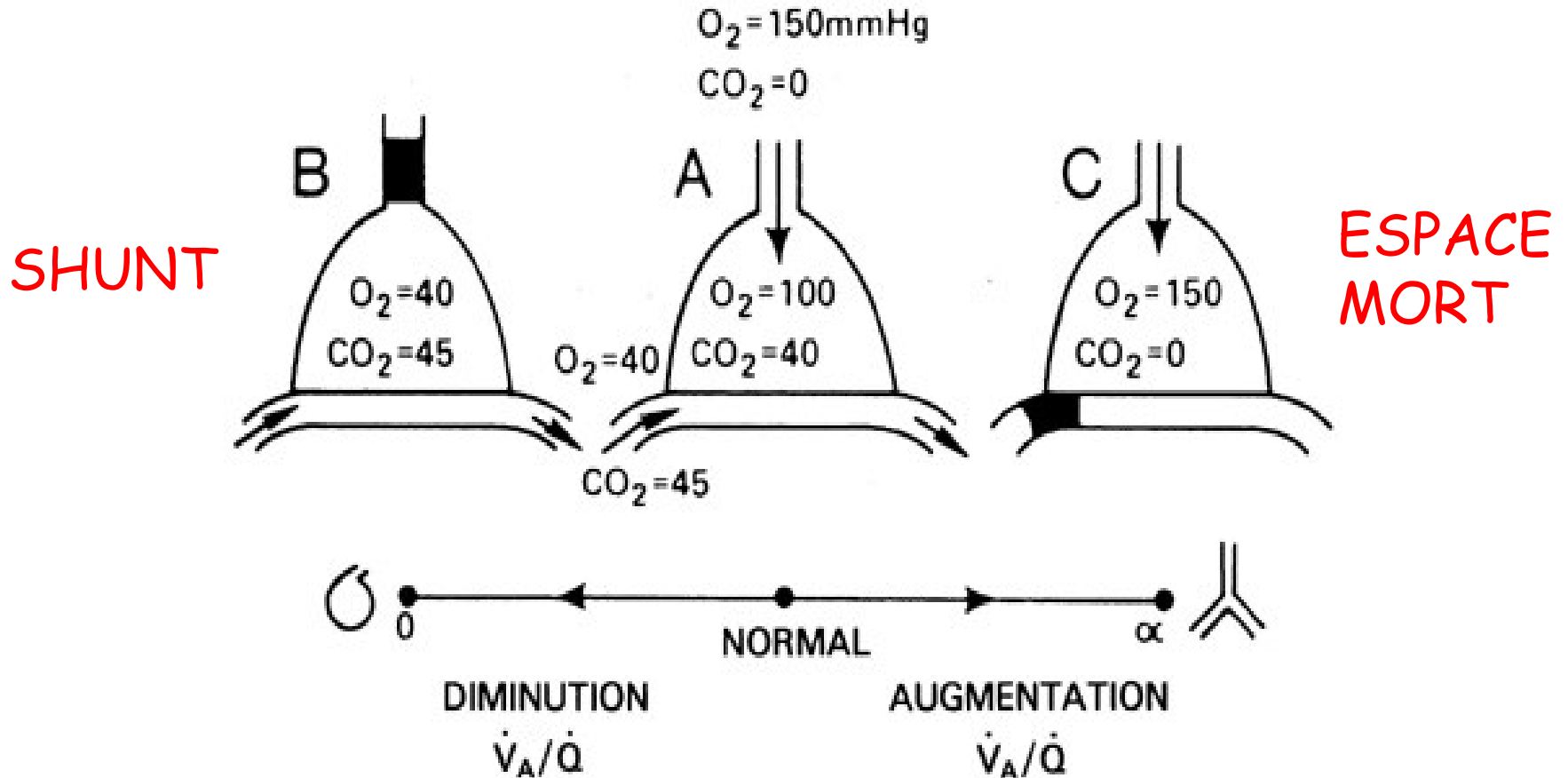
 = circulation
(n=12)



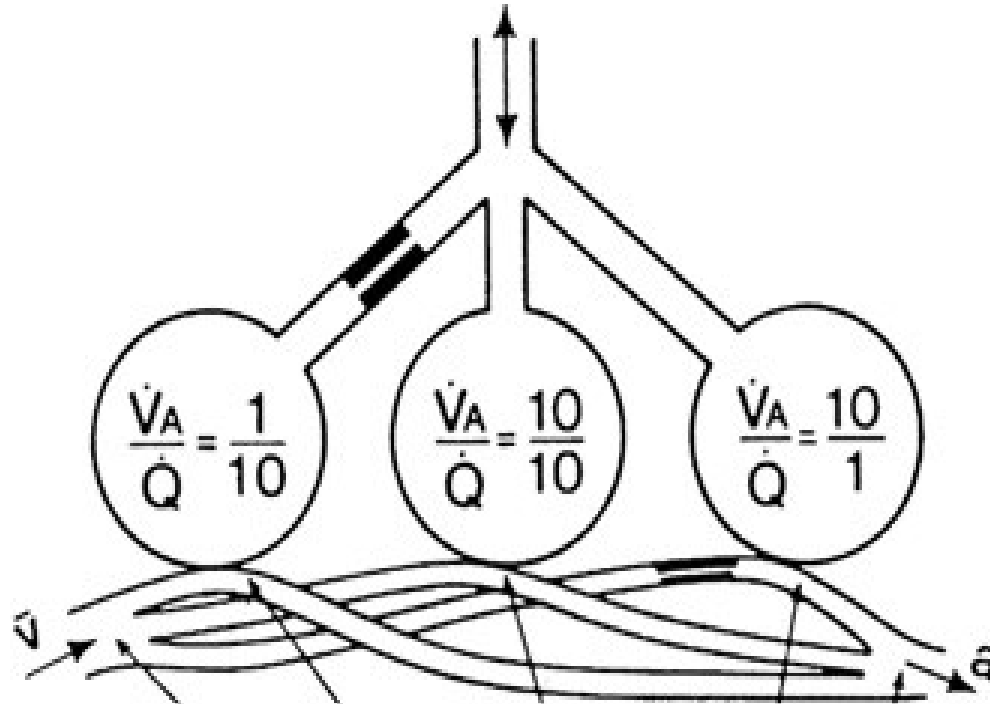
n=8



Effet des modifications des rapports ventilation-perfusion sur la PO_2 et la PCO_2 dans une unité alvéolaire

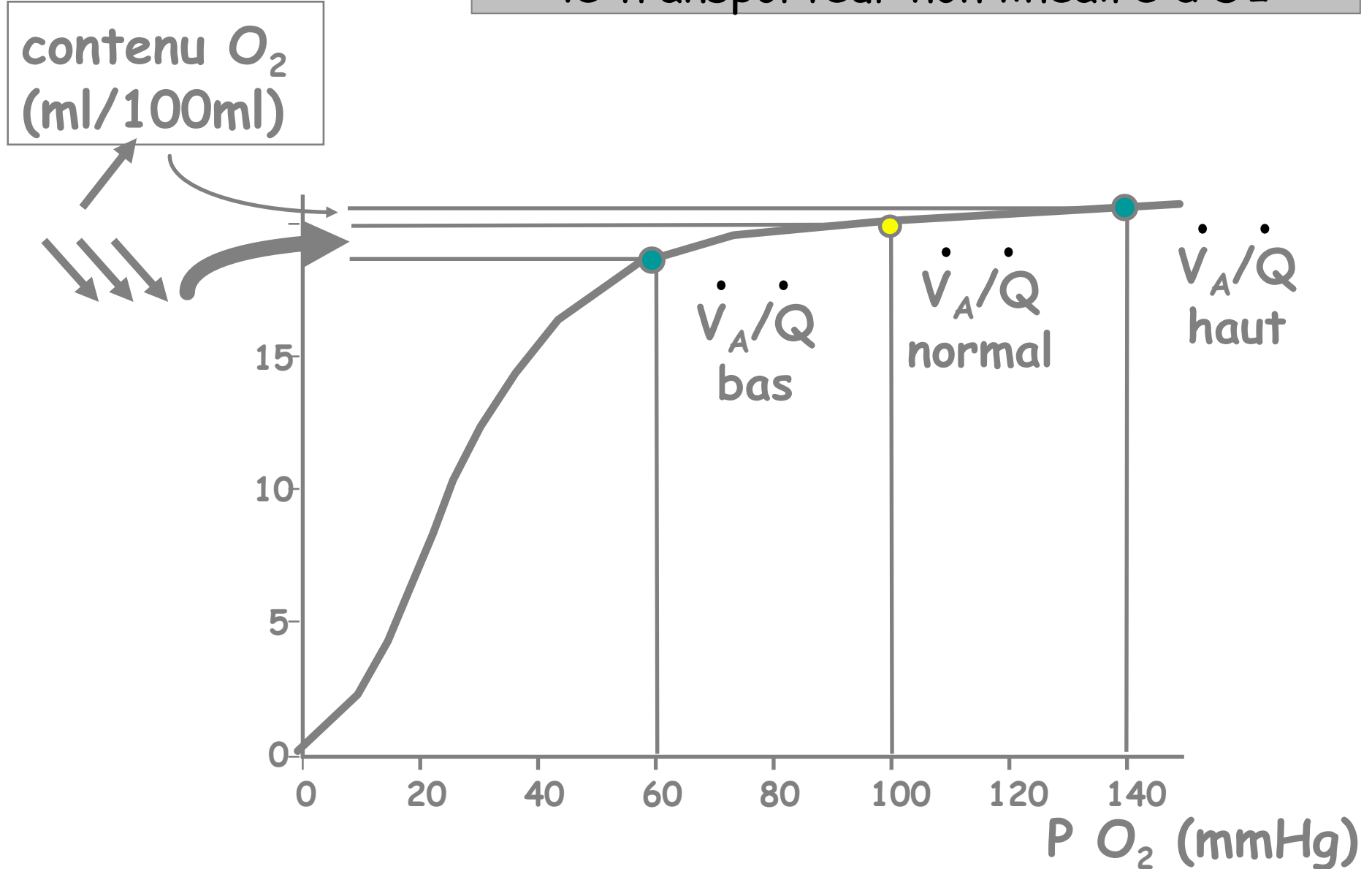


Effet de l'inégalité des rapports ventilation-perfusion sur les échanges gazeux globaux (hématose)

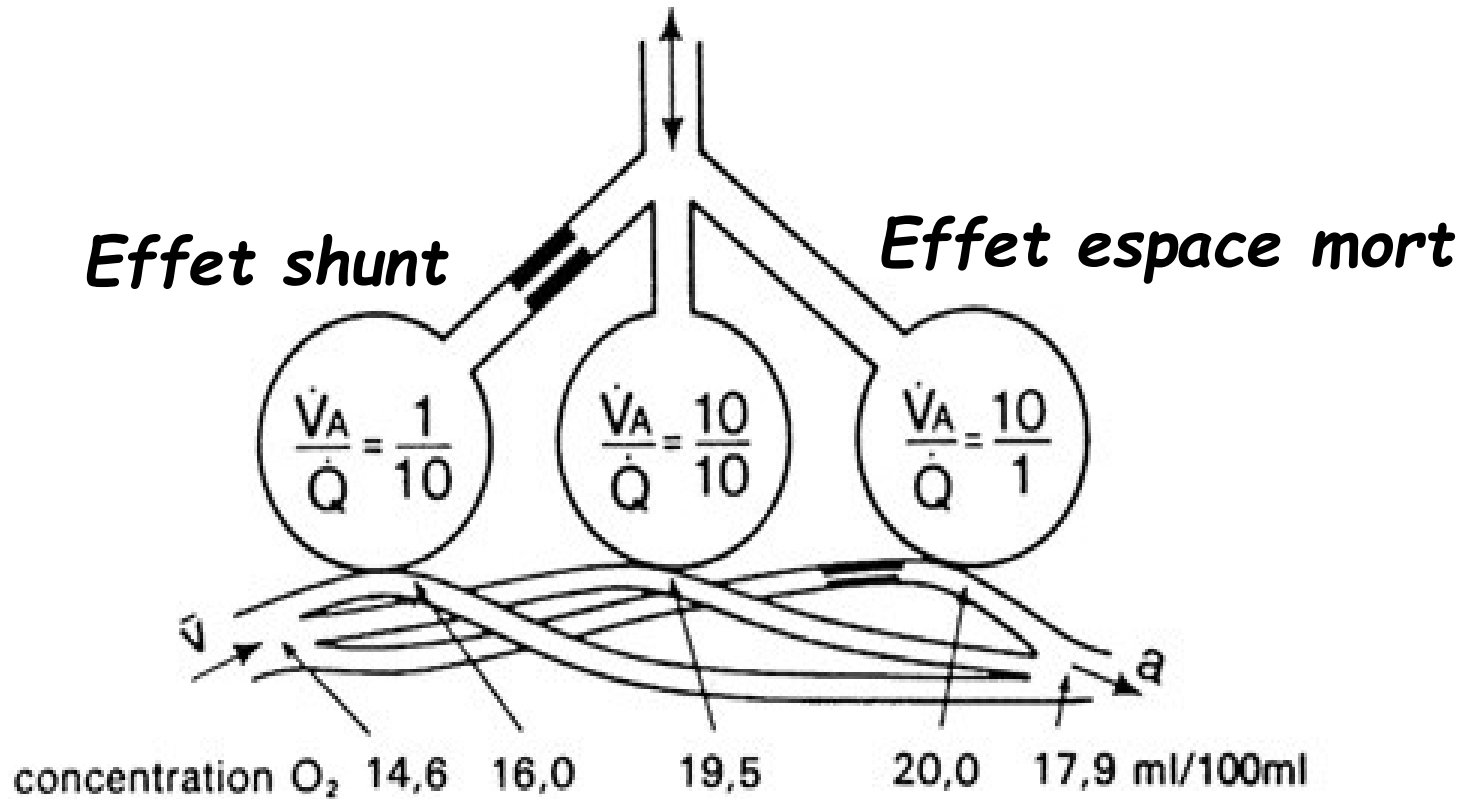


Pression O_2 :	mmHg	60	100	140
Pression CO_2		72	40	8

Hémoglobine : le transporteur non linéaire d'O₂



Effet de l'inégalité des rapports ventilation-perfusion sur les échanges gazeux globaux



Pression O_2 : mmHg	60	100	140
Pression CO_2	72	40	8