

Paradoxical ankle venous pressure in standing and walking compared to the venous blood column height.

C Franceschi¹

¹Centre Marie Thérèse Hôpital Saint Joseph 189 rue Raymond Losserand 75014 Paris

submitted: Jun 10, 2017, accepted: Aug 18, 2017,

Conflict of interest: none

DOI: [10.24019/jtavr.24](https://doi.org/10.24019/jtavr.24) - Corresponding author: Dr. Claude Franceschi, claudio.franceschi@gmail.com

© 2017 Fondazione Vasculab impresa sociale ONLUS. All rights reserved.

Abstract The mechanism responsible for the pressure at the foot in standing still lower than expected by the height of the venous blood column, is controversial. It can be theoretically explained by the hydrostatic laws if we consider the vacuum pressure in the head and thoracic veins and the continuity of the blood column from the feet up to the top of the head without including the dynamic flow which is, according to Bernoulli equation, independent of height, even in vivo conditions. The additional lowering of the pressure when walking is due to the discontinuity of the blood column achieved by the dynamic closure of the valves alternatively proximally and distally to the muscular pumps of the legs. A theoretical model is proposed, illustrated by a video plain experimentation.

Keywords venous pressure, hydrostatic pressure, air embolism.

Introduction

A recent paper¹ deals with the discrepancy between the measured venous pressure at the ankle and the expected hydrostatic value. The ankle venous pressure when standing still and during ambulation is lower than expected by the height of the venous blood column from the foot up to the top of the head. According to an experimental model and to basic physical arguments, the Authors conclude : "Persistent negative pressure in systemic chest veins probably does not occur. The reason for the discrepant foot venous pressure is likely to be a result of dynamic flow and not negative pressure in chest veins. External positive

pressure results in slowing of velocity but the transmural pressure remains largely unchanged."¹

A different model, based on other parameters can be proposed. It relies on the transmission of the atmospheric pressure to the venous hydrostatic pressure according to the rigidity of the surrounding tissues, irrespective of flow kinetics. In this paper a theoretical model is proposed in favor of a hydrostatic mechanism, while several related experimental data are available in a video². (Fig 1)

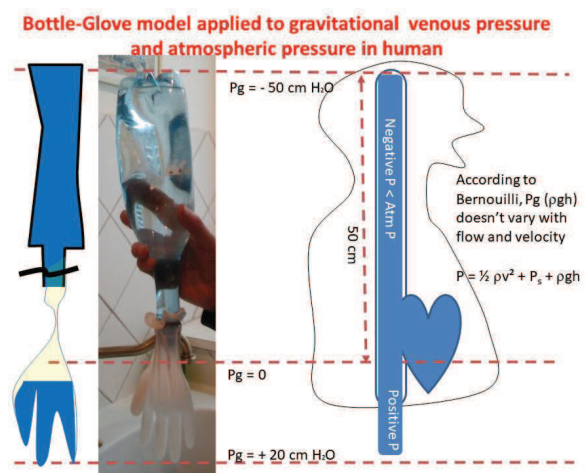


Fig. 1: Additional experimental data about venous pressure can be found in an online video² at the address <https://www.youtube.com/watch?v=Udsg8hIzPu8>. P_g - Gravitational Hydrostatic pressure, P - total pressure, ρ - density, v - velocity, P_s - static pressure, g - acceleration of gravity, h height.

MODÈLES DE PRESSION VEINEUSE

Pression veineuse paradoxale de la cheville en position debout et en marchant par rapport à la hauteur de la colonne de sang veineux.

C Franceschi¹

¹Centre Marie Thérèse Hôpital Saint Joseph 189 rue Raymond Losserand
75014 Paris

soumis : Jun 10, 2017, accepté : Aug 18, 2017, Conflit d'intérêts : none DOI : 10.24019/jtavr.24 - Auteur correspondant : Dr. Claude Franceschi, claud.franceschi@gmail.com © 2017 Fondazione Vasculab impresa sociale ONLUS. Tous droits réservés.

DOI: 10.24019/jtavr.24 - Corresponding author: Dr. Claude Franceschi, claud.franceschi@gmail.com © 2017 Fondazione

Vasculab impresa sociale ONLUS. All rights reserved.

Le mécanisme responsable de la pression au pied en position debout inférieure à celle attendue par la hauteur de la colonne de sang veineux est controversé. Il peut être expliqué théoriquement par les lois hydrostatiques si l'on considère la pression de vide dans les veines de la tête et du thorax et la continuité de la colonne de sang des pieds jusqu'au sommet de la tête sans inclure le flux dynamique qui est, selon l'équation de Bernoulli, indépendant de la hauteur, même dans des conditions in vivo. La diminution supplémentaire de la pression lors de la marche est due à la discontinuité de la colonne de sang obtenue par la fermeture dynamique des valves de manière alternative de manière proximale et distale aux pompes musculaires des jambes. Un modèle théorique est proposé, illustré par une expérience vidéo en plan.

Pression veineuse, pression hydrostatique, embolie gazeuse.

Introduction

Un article récent traite de la disparité entre la pression veineuse mesurée à la cheville et la valeur hydrostatique attendue. La pression veineuse à la cheville lorsqu'on est immobile et pendant la marche est inférieure à ce qui est attendu en fonction de la colonne de sang veineux allant du pied jusqu'au sommet de la tête. Selon un modèle expérimental et des arguments physiques de base, les auteurs concluent : "Une pression négative persistante dans les veines systémiques de la poitrine ne se produit probablement pas. La raison de la pression veineuse du pied discordante est probablement le résultat d'un écoulement dynamique et non d'une pression négative dans les veines de la poitrine. Une pression externe positive"

La pression entraîne un ralentissement de la vitesse mais la pression transmurale reste largement inchangée."¹

Un modèle différent, basé sur d'autres paramètres, peut être proposé. Il repose sur la transmission de la pression atmosphérique à la pression hydrostatique veineuse en fonction de la rigidité des tissus environnants, indépendamment de la cinétique de l'écoulement. Dans cet article, un modèle théorique est proposé en faveur d'un mécanisme hydrostatique, tandis que plusieurs données expérimentales connexes sont disponibles dans une vidéo². (Fig 1)

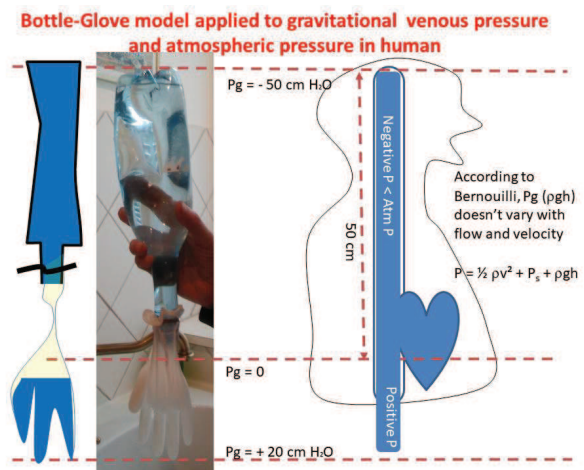


Fig. 1 : Des données expérimentales supplémentaires sur la pression veineuse peuvent être trouvées dans une vidéo en ligne à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=Udsg8htzPu8>. — P_g - Pression hydrostatique gravitationnelle, P - pression totale. ρ - densité, v - vitesse, P_s - pression statique, g - accélération de la gravité, h hauteur.

1-Physics background

11-Pressure definitions

111-Bernoulli equation

In physiology, blood is usually approximately considered as Newtonian, thus according to the Bernoulli law:

$$P_t = P_s + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = P_s + P_{dyn} + P_g = \text{Konst.}$$

where:

- P_t = Total pressure at a point on a streamline = total energy density;
- P_s = static pressure at a point on a streamline = Energy density due to the work of the forces of pressure;
- ρ = density of the fluid at all points in the fluid;
- v = fluid flow speed at a point on a streamline;
- g = acceleration of gravity ;
- h is the elevation of the point above a reference plane, with the positive h (direction pointing upward) so in the direction opposite to the gravitational acceleration;
- $P_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2$ = dynamic pressure at a point on a streamline = kinetic energy density;
- $P_g = \rho gh$ = Gravitational Hydrostatic pressure = density of potential energy of gravity.

$P_{dyn} + P_s = \text{Konst.}$ because they convert one into the other, while P_g does not vary with P_{dyn} nor P_s but only with ρ , g and h . So P_g does not change with flow velocity.

P_g and $(P_s + P_{dyn})$ are independent while P_{dyn} and P_s are linked by a constant and convert one into the other according to the velocity rate.

112-Absolute pressure

Absolute pressure = total pressure at a point in a fluid equaling the sum of the gauge and the atmospheric pressure.
 $P_{abs} = P_{atm} + P_{gauge}$.

1121-Atmospheric pressure

P_{atm} = atmospheric pressure = 10.33 meters of water = 760 mmHg at the sea level.

1122- Gauge pressure

Gauge pressure = Stagnation pressure (standard and usual pressure measurement reference) measured in

open air, so $P_{gauge} = P_{abs} - P_{atm}$. When negative (vacuum P_{gauge} pressure), P_{gauge} does not mean a reversal direction of pressure, but only values lower than P_{atm} . The vacuum P_{gauge} pressure varies from Zero to -760 mmHg or 10.33 m H₂O. So P_t expressed in Gauge pressure is equal to $P_{abs} - P_{atm}$.

1123-Vacuum pressure

Vacuum pressure = $P_{atm} - P_{abs}$. When a one-end of a closed rigid tube (> 10.33 m long) full of water is immersed vertically by its open end in a tank filled with water (at the sea level where P_{atm} is maximum, i.e. 760 mmHg of absolute pressure (P_{abs}), the gauge pressure (P_{gauge}) inside the tube turns negative (vacuum pressure) and decreases upwards from 0 to -10.33 m H₂O i.e. -760 mm Hg. In other terms, the water is pushed up to a 10.33 m high column by the equivalent air weight (almost 10000 m of air) into a rigid container shielded against P_{atm} . ($P_{abs} = P_{atm} + P_{gauge}$) (Fig 2)

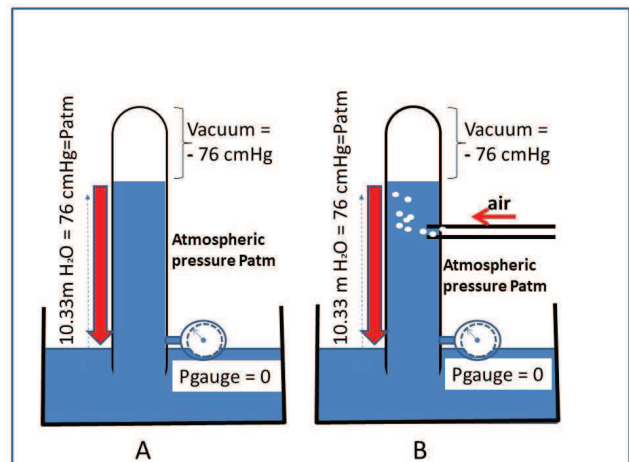


Fig. 2: A) When a one end of a closed rigid tube (> 10 meters long) full of water is immersed vertically by its open end in a tank filled with water (at the sea level where the atmospheric pressure (P_{atm}) is maximum, the gauge pressure (P_{gauge}) inside the tube turns negative (vacuum pressure) and decreases upwards from 0 to -10.33 mH₂O, i.e. -76 cmHg up to zero absolute pressure (P_{abs}). B) Air suction by the negative pressure in the tube.

1124-Transmural Pressure

Transmural Pressure (TMP) results from the difference of two opposite pressures against a tube wall. $TMP = L_p - E_p$, where L_p = Inner wall pressure or Lateral Pressure and E_p = External wall pressure of the tube. In

111-Équation de Bernoulli

En physiologie, le sang est généralement considéré comme newtonien, donc selon la loi de Bernoulli :

$$P_t = P_s + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = P_s + P_{dyn} + P_g = \text{Konst.}$$

où:

- P_t = Pression totale en un point sur une ligne de courant = densité totale d'énergie;
- P_s = pression statique en un point sur une ligne de courant = densité d'énergie due au travail des forces de pression;
- ρ = densité du fluide en tous points du fluide ;
- v = vitesse d'écoulement du fluide en un point sur une ligne de courant ;
- g = accélération de la gravité ;
- h est l'élévation du point au-dessus d'un plan de référence, avec le h positif (direction pointant vers le haut) donc dans la direction opposée à l'accélération gravitationnelle;
- $P_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2$ = pression dynamique en un point sur une ligne de courant = densité d'énergie cinétique;
- $P_g = \rho gh$ = Pression hydrostatique gravitationnelle = densité d'énergie potentielle de la gravité.

$P_{dyn} + P_s = \text{Konst.}$ parce qu'ils se convertissent l'un en l'autre, tandis que P_g ne varie pas avec P_{dyn} ni P_s mais seulement avec ρ , g et h . Ainsi, P_g ne change pas avec la vitesse d'écoulement. and h . So P_g does not change with flow velocity.

P_g et $(P_s + P_{dyn})$ sont indépendants tandis que P_{dyn} et P_s sont liés par une constante et se convertissent l'un en l'autre selon le taux de vitesse.

112-Pression absolue

Pression absolue = pression totale en un point dans un fluide égalant la somme de la pression de jauge et de la pression atmosphérique. $P_{abs} = P_{atm} + P_{gauge}$.

1121-Pression atmosphérique

Pression atmosphérique = 10,33 mètres d'eau = 760 mmHg au niveau de la mer.

1122- Pression de jauge

Pression de jauge = Pression de stagnation (référence de mesure de pression standard et habituelle) mesurée en

En l'absence d'air, donc $P_{gauge} = P_{abs} - P_{atm}$. Lorsque négatif (pression P_{gauge} en vide), P_{gauge} ne signifie pas une inversion de la pression, mais seulement des valeurs inférieures à P_{atm} . La pression P_{gauge} en vide varie de zéro à -760 mmHg ou 10,33 m H₂O. Ainsi, P_t exprimé en pression jauge est égal à $P_{abs} - P_{atm}$.

1123-Pression du vide

Pression du vide = $P_{atm} - P_{abs}$. Lorsqu'une extrémité d'un tube rigide fermé (> 10,33 m de long) rempli d'eau est immergée verticalement par son extrémité ouverte dans un réservoir rempli d'eau (au niveau de la mer où la pression absolue (P_{abs}), la pression de jauge (P_{gauge}) à l'intérieur du tube devient négative (pression de vide) et diminue de 0 à -10,33 m H₂O, c'est-à-dire -760 mm Hg vers le haut. En d'autres termes, l'eau est poussée vers le haut jusqu'à une colonne de 10,33 m de haut par le poids d'air équivalent (presque 10000 m d'air) dans un conteneur rigide protégé contre P_{atm} . ($P_{abs} = P_{atm} + P_{gauge}$) (Fig 2)

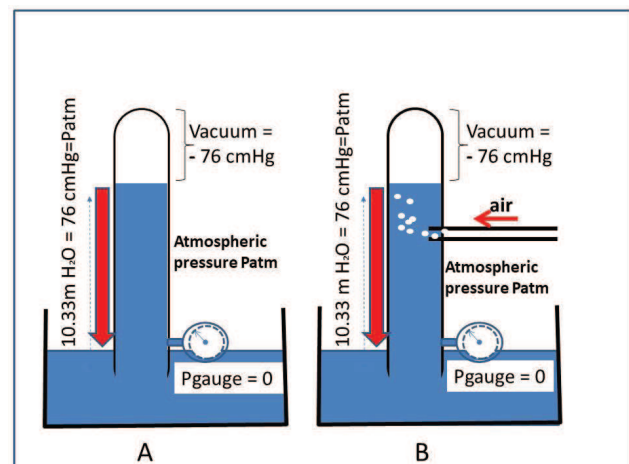


Fig. 2: A) Lorsqu'une extrémité d'un tube rigide fermé (> 10 mètres de long) rempli d'eau est immergée verticalement par son extrémité ouverte dans un réservoir rempli d'eau (au niveau de la mer où la pression atmosphérique (P_{atm}) est maximale, la pression de jauge (P_{gauge}) à l'intérieur du tube devient négative (pression de vide) et diminue de 0 à -10,33 mH₂O, c'est-à-dire de -76 cmHg jusqu'à une pression absolue nulle (P_{abs}). B) Aspiration d'air par la pression négative dans le tube.

1124-Pression transmurale

La pression transmurale (TMP) résulte de la différence de deux pressions opposées contre une paroi de tube. $TMP = L_p - E_p$, où L_p = pression de la paroi interne ou pression latérale et E_p = pression de la paroi externe du tube.

addition, $L_p = P_s + \rho gh$. What happens to a tube full of fluid submitted to P_{atm} ? If its TMP is negative ($L_p - P_{atm} < 0$, negative TMP) a collapsible tube collapses while the rigid one does not. In both cases, if we push a needle through its wall, the pressure difference will suck the air into the tube. Two distinct conditions can provide negative L_p .

- The first one occurs when the tube is closed (Fig 3B);
- The second one when, in an open or closed tube, according to the Venturi effect, the velocity is high and the fluid column height h is negligible and the hydrostatic energy density term (ρgh) can be omitted.

The Venturi effect relates to the Bernoulli law $P_t = P_s + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh$, when it is applied in horizontal condition. Thus, $P_t = P_s + \frac{1}{2} \rho v^2$ where L_p depends only on P_s , which decreases inversely proportional to the square of velocity. (Fig 3)

12-Statics

Physical relationship between venous pressure, atmospheric pressure, vacuum pressure, gauge pressure.

121- Static pressures in open tubes and containers submitted to the gravity forces and atmospheric pressure

The P_{gauge} of static fluids inside an upper end open vertical tube submitted to the atmospheric pressure P_{atm} obeys the hydrostatic law $P_t = \rho gh = P_g = \text{Gravitational Hydrostatic pressure} = \text{density of potential energy of gravity}$. (Fig 4)

13- Dynamics

Physical relationship between venous pressure, atmospheric pressure, vacuum pressure, gauge pressure: The previous model is static. It becomes dynamic instead, if a pump is inserted into the circuit, the water being submitted by the pump to a Pressure = $\frac{1}{2} \rho v^2 + P_s = \text{Konst}$. As it can be seen, the Zero P_{gauge} is just at the junction of the rigid tube and the collapsible bag. The bag volume varies according to the TMP and its compliance, following the Hook's law. $TMP = L_p - E_p = (P_g + P_s) - (P_{atm} + K)$ where K is any additional external pressure. If the fluid moves, P_g does not change but P_{gauge} will be higher because increased by $P_{dyn} + P_s$ so that $P_t = P_s + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = P_g + P_{dyn} + P_s$. (Fig 5)

If the upper open end of the tube is closed, then P_{gauge} does not change if it connects to symmetric but still open tube. (Fig 6)

If the tube is no more submitted to the atmospheric pressure, then a negative pressure occurs inside the system. (Fig 7)

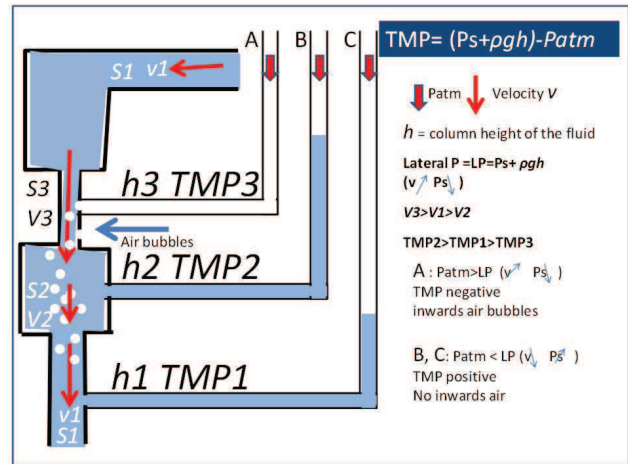


Fig. 3: Pitot tubes and Venturi effect showing the transmural pressure (TMP) according to the flow velocity (v) and the height (h) of the overlying fluid column. Lateral pressure (L_p) decreases because the static pressure (P_s) decreases proportionally to the squared velocity. Thus a very high velocity can cause a negative TMP and let the air enter into the tube, but only where h is negligible (h_3).

P_{atm} - atmospheric pressure, ρ - density, g - acceleration of gravity.

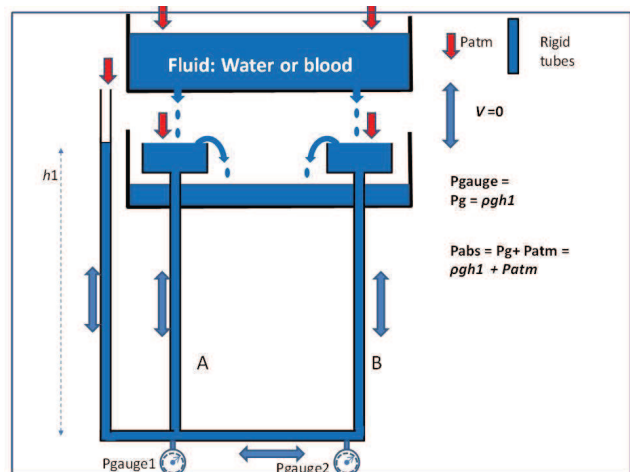


Fig. 4: $P_{gauge1} = P_{gauge2}$ and varies only according to P_g i.e to the height h_1 of the column A and B because ρg is constant and does not depend on the fluid velocity when $v=0$. P_g - Gravitational Hydrostatic pressure, P_{atm} - atmospheric pressure, ρ - density, g - acceleration of gravity.

En outre, $L_p = P_s + \rho gh$. Que se passe-t-il à un tube rempli de fluide soumis à P_{atm} ? Si son TMP est négatif ($L_p - P_{atm} < 0$, TMP négatif), un tube souple se comprime tandis que le rigide ne le fait pas. Dans les deux cas, si nous enfonçons une aiguille à travers sa paroi, la différence de pression aspirera l'air dans le tube. Deux conditions distinctes peuvent fournir un L_p négatif.

- Le premier se produit lorsque le tube est fermé (Fig3B);
- Le deuxième cas, lorsque, dans un tube ouvert ou fermé, selon l'effet Venturi, la vitesse est élevée et la hauteur de la colonne de fluide h est négligeable et le terme de densité d'énergie hydrostatique (ρgh) peut être omis. hydrostatic energy density term (ρgh) can be omitted.

L'effet Venturi est lié à la loi de Bernoulli $P_t = P_s + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh$, lorsqu'elle est appliquée en condition horizontale. Ainsi, $P_t = P_s + \frac{1}{2} \rho v^2$ où L_p dépend uniquement de P_s , qui diminue de manière inversement proportionnelle au carré de la vitesse. (Fig 3)

12-Statique

Relation physique entre la pression veineuse, pression atmosphérique, pression sous vide, pression de jauge.

121- Pressions statiques dans des tubes ouverts et des conteneurs soumis aux forces de gravité et à la pression atmosphérique

La jauge des fluides statiques à l'intérieur d'un tube vertical ouvert en haut soumis à la pression atmosphérique P_{atm} obéit à la loi hydrostatique $P_t = \rho gh = P_g = \text{Gravitationnelle}$ obeys the hydrostatic law $P_t = \rho gh = P_g = \text{Gravitationnel}$

Pression hydrostatique = densité de l'énergie potentielle de la gravité. (Fig 4)

13- Dynamique

Relation physique entre la pression veineuse, pression atmosphérique, pression sous vide, pression de jauge : Le modèle précédent est statique. Il devient dynamique à la place, si une pompe est insérée dans le circuit, l'eau étant soumise par la pompe à une Pression = $\frac{1}{2} \rho v^2 + P_s = \text{Konst}$. Comme on peut le voir, le Zéro de la pression de jauge est juste au niveau de la jonction du tube rigide et du sac pliable. Le volume du sac varie en fonction du TMP et de sa compliance, suivant la loi de Hooke. $TMP = L_p - E_p = (P_g + P_s) - (P_{atm} + K)$ où K est une pression externe supplémentaire quelconque. Si le fluide se déplace, P_g ne change pas mais P_{gauge} sera plus élevé car augmenté de $P_{dyn} + P_s$ de sorte que $P_t = P_s + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = P_g + P_{dyn} + P_s$. (Fig 5)

Si l'extrémité ouverte supérieure du tube est fermée, alors P_{gauge} ne change pas s'il se connecte à un tube symétrique mais toujours ouvert. (Fig 6)

Si le tube n'est plus soumis à la pression atmosphérique, une pression négative se produit à l'intérieur du système. (Fig 7)

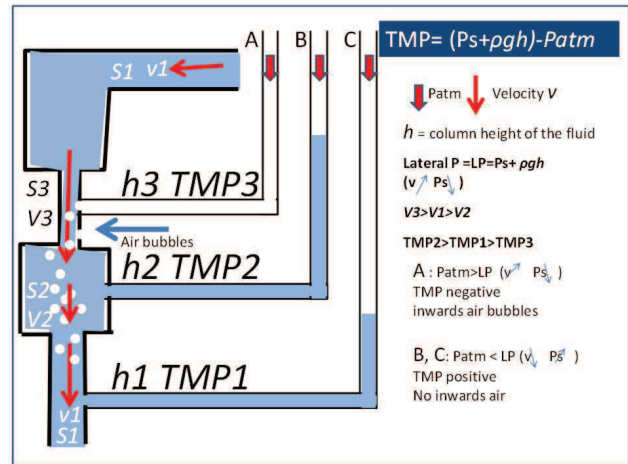


Fig. 3 : Tubes de Pitot et effet Venturi montrant la pression transmurale (TMP) en fonction de la vitesse d'écoulement (v) et de la hauteur (h) de la colonne de fluide sus-jacente. La pression latérale (L_p) diminue car la pression statique (P_s) diminue proportionnellement au carré de la vitesse. Ainsi, une très grande vitesse peut entraîner une TMP négative et laisser l'air entrer dans le tube, mais seulement là où h est négligeable (h_3).

P_{atm} - pression atmosphérique, ρ - densité, g - accélération de la gravité.

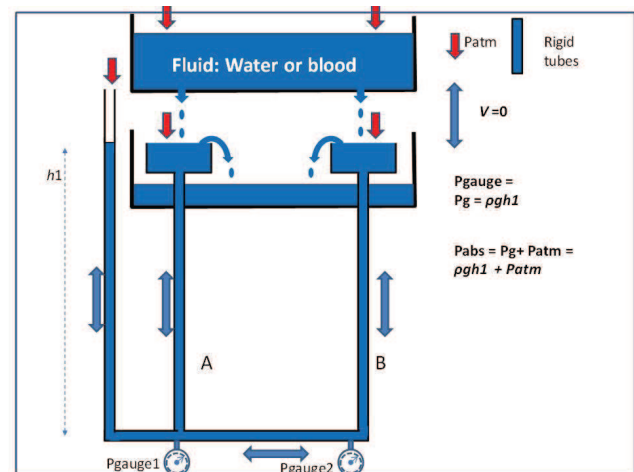


Fig. 4: $P_{gauge1} = P_{gauge2}$ et varie uniquement selon $P_{g,i}$ selon la hauteur h_1 de la colonne A et B car ρg est constant et ne dépend pas de la vitesse du fluide lorsque $v=0$. P_g - Pression hydrostatique gravitationnelle, P_{atm} - pression atmosphérique, ρ - densité, g - accélération de la gravité. ρg is constant and does not depend on the fluid velocity when $v=0$. P_g - Gravitational Hydrostatic pressure, P_{atm} - atmospheric pressure, ρ - density, g - acceleration of gravity.

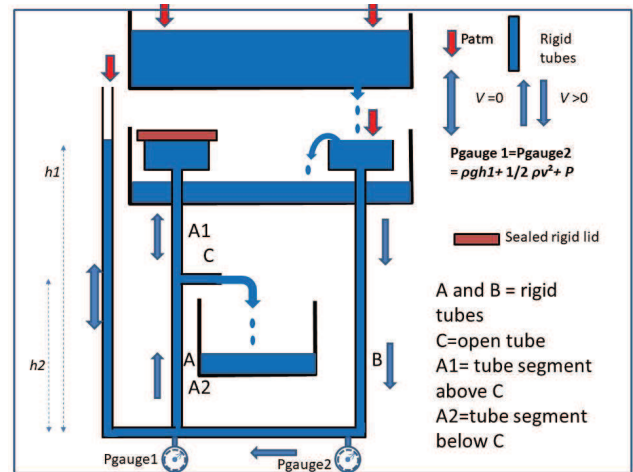
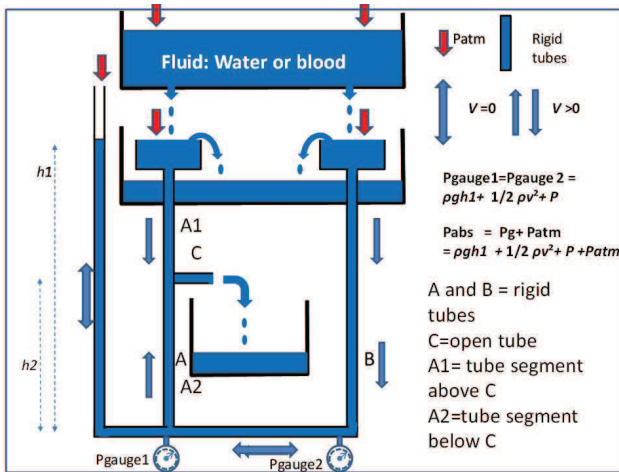


Fig. 5: P_{gauge1} is still = P_{gauge2} and varies not only according to P_g i.e. to the height $h1$ of the column A and B but also to the fluid velocity (v) when $v > 0$. Thus P_{gauge} is $> P_g$. P_g - Gravitational Hydrostatic pressure, P_{atm} - atmospheric pressure, ρ - density, g - acceleration of gravity.

Fig. 6: Despite a sealed rigid lid above C (column A1), P_{gauge1} is still = $P_{gauge2} = \rho gh1 + P_{dyn} + P_s$, transmitted by the column B. P_{atm} - atmospheric pressure, ρ - density, g - acceleration of gravity.

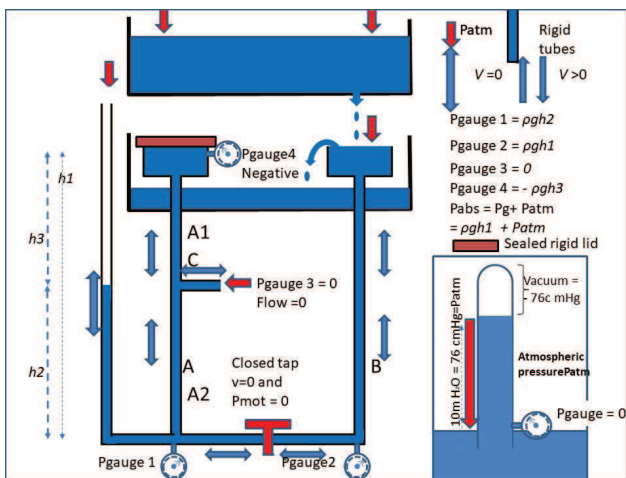


Fig. 7: If the flow between column A and column B is blocked, $P_{gauge2} = \rho gh1$ while $P_{gauge1} = \rho gh2$, i.e. $< P_{gauge2}$. At the same time, the outwards flow is stopped at C ($P_{gauge3}=0$) and the P_{gauge4} at the top A1 is negative = $-\rho gh3$. A and B = rigid tubes, C=open tube, A1= tube segment above C, A2=tube segment below C. P_g - Gravitational Hydrostatic pressure, P_{atm} - atmospheric pressure, ρ - density, g - acceleration of gravity. v - velocity.

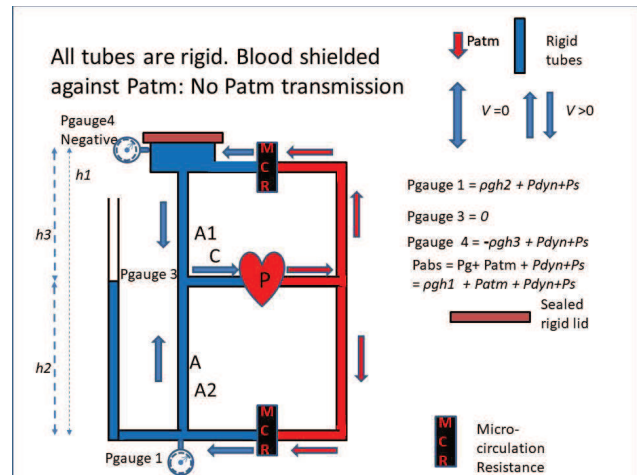


Fig. 8: If A and C rigid tubes are connected to a pump in a closed circuit, $P_{gauge3} = 0$ because the circuit is shielded against the atmospheric pressure P_{atm} . A and B = rigid tubes, C=open tube, A1= tube segment above C, A2=tube segment below C. P_g - Gravitational Hydrostatic pressure, P_{atm} - atmospheric pressure, ρ - density, g - acceleration of gravity. v - velocity. MCR - micro-circulatory resistance.

If the rigid tube is connected to a pump, in closed circuit, then, the negative P_{gauge} does not change except the additional pressure $P_s + \frac{1}{2} \rho v^2$ provided by the pump. (Fig 8)

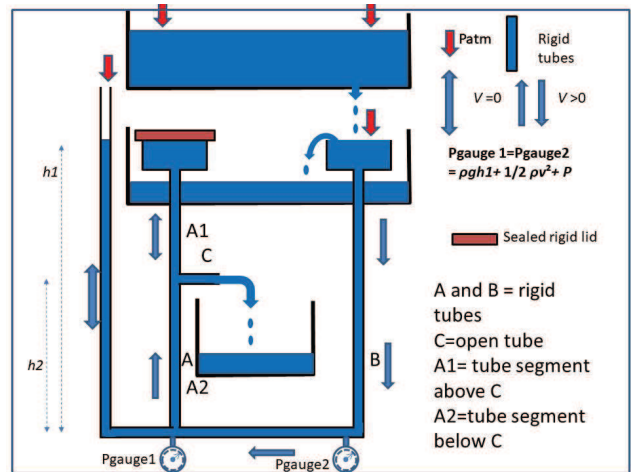
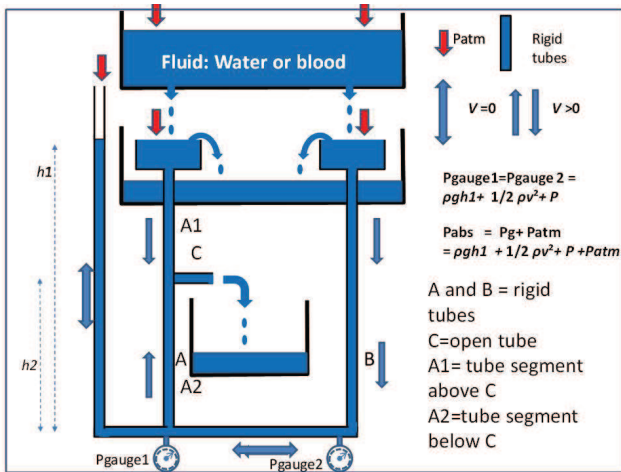


Fig. 5: Pgage1 est toujours = Pgage2 et varie non seulement selon Pg c'est-à-dire la hauteur h1 de la colonne A et B mais aussi selon la vitesse du fluide (v) lorsque v>0. Ainsi, Pgage est >Pg. Pg - Pression hydrostatique gravitationnelle,

Fig. 6 : Malgré un couvercle rigide scellé au-dessus de C (colonne A1), Pgage1 est toujours égal à Pgage2 = $\rho gh_1 + P_{dyn} + P_s$, transmis par la colonne B. Patm - pression atmosphérique.

Patm - pression atmosphérique, ρ - densité, g - accélération de la gravité.

ρ - densité, g - accélération de la gravité.

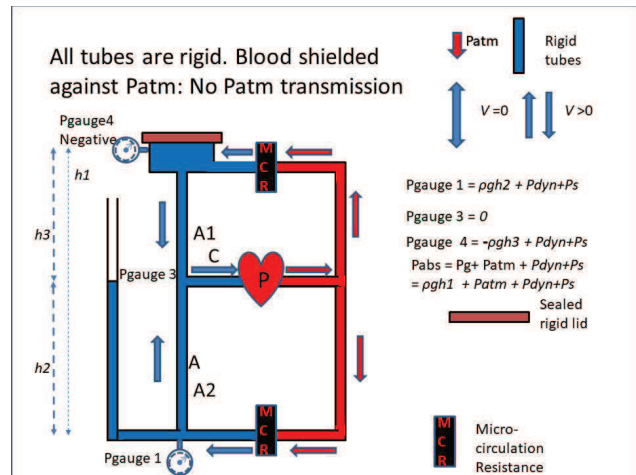
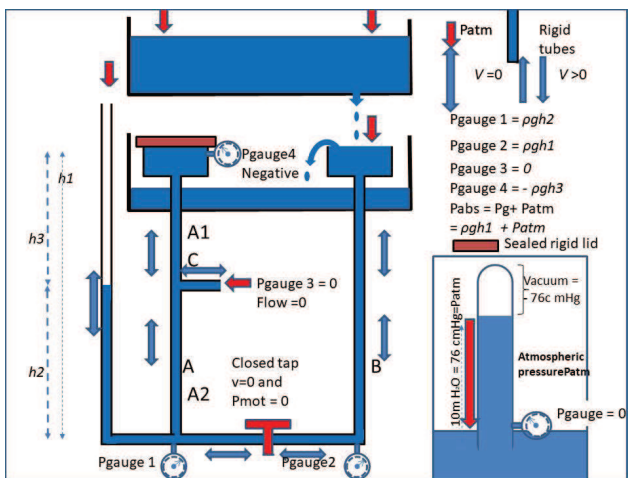


Fig. 7 : Si le flux entre la colonne A et la colonne B est bloqué, Pgage2 = ρgh_1 tandis que Pgage1 = ρgh_2 , c'est-à-dire <Pgage2. En même temps, l'écoulement vers l'extérieur est arrêté à C (Pgage3=0) et le Pgage4 en haut de A1 est négatif = - ρgh_3 . A et B = tubes rigides, C = tube ouvert, A1 = segment de tube au-dessus de C, A2 = segment de tube en dessous de C. Pg - Pression hydrostatique gravitationnelle, Patm - pression atmosphérique, ρ - densité, g - accélération de la gravité. v - vitesse. Pgage2. At the same time, the outwards flow is stopped at C (Pgage3=0) and the Pgage4 at the top A1 is negative = - ρgh_3 . A and B = rigid tubes, C=open tube, A1= tube segment above C, A2=tube segment below C. Pg - Gravitational Hydrostatic pressure, Patm - atmospheric pressure, ρ - density, g - acceleration of gravity. v - velocity.

Fig. 8 : Si les tubes rigides A et C sont connectés à une pompe dans un circuit fermé, Pgage3 = 0 car le circuit est protégé contre la pression atmosphérique Patm. A et B = tubes rigides, C = tube ouvert, A1 = segment de tube au-dessus de C, A2 = segment de tube en dessous de C. Pg - Pression hydrostatique gravitationnelle.

Patm - pression atmosphérique, ρ - densité, g - accélération de la gravité. v - vitesse. MCR - résistance microcirculatoire.

Si le tube rigide est connecté à une pompe, fermé circuit, alors, la Pgage négative ne change pas sauf la pression supplémentaire $P_s + \frac{1}{2} \rho v^2$ fournie par la pompe. (Fig 8)

If the open end of the tube is connected to a collapsible bag and then verticalized in open air, water will remain in the rigid tube, because it is shielded against TMP. On the contrary, the bag collapses because P_{atm} can press it and closes the open end of the rigid tube. If the lower segment of the tube is replaced with a collapsible bag, its inner P_{gauge} is positive in proportion to the height of the water it contains, while it remains negative in the upper rigid tube. (Fig 9)

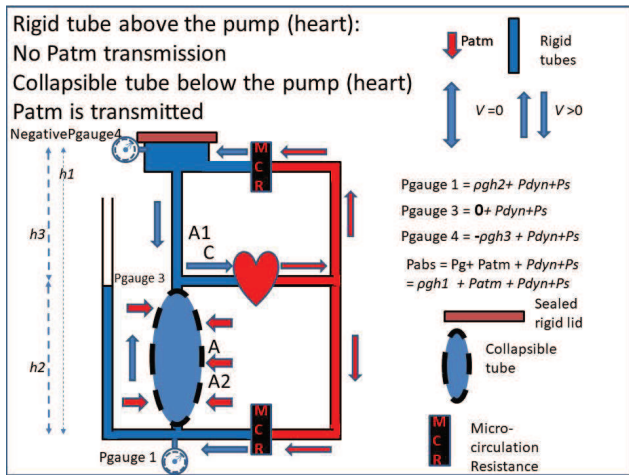


Fig. 9: If A and C rigid tubes are connected to a pump in a closed circuit, $P_{gauge3}=0$ because the circuit is shielded against the atmospheric pressure P_{atm} . But if the tube segment is replaced with a smooth container, the atmospheric pressure is transmitted to it and $P_{gauge1} = \rho gh2 + P_{dyn} + P_s$, $P_{gauge3}=0$ and $P_{gauge4} = -\rho gh3 + P_{dyn} + P_s$. A and B = rigid tubes, C=open tube, A1=tube segment above C, A2=tube segment below C. P_g - Gravitational Hydrostatic pressure, P_{atm} - atmospheric pressure, ρ - density, g - acceleration of gravity. v - velocity. MCR - micro-circulatory resistance, P_{dyn} - dynamic pressure, P_s - static pressure.

2- Can this theoretical physical model be applied to the venous system?

21- Positive and negative venous pressure in standing still

We presume that the skull, the cervical spine and the rib cage can be roughly assimilated to a rigid tube as also the abdomen and the lower limbs to a collapsible bag. This gives the Zero P_{gauge} at the xiphoid. The pressure at the foot in standing still:

- Foot-xiphoid distance = 115 cm in a 180 cm tall individual);

- $P_g = 115 \text{ cmH}_2\text{O} = 85 \text{ mmHg}$;
- $P_{gauge} = 85 \text{ mmHg} + P_{dyn} (P_{dyn} + P_s)$;
- $P_{mot} = 95 \text{ mmHg}$;

where P_{mot} is the driving pressure provided by the heart, i.e. the residual pressure. NB! P_{gauge} at the foot, in recumbent position, is worth only $P_{mot} = 10-15 \text{ mmHg}$, because h is around Zero and P_g is negligible. The height of the rigid portion above the xiphoid is 65 cm. P_{gauge} at the top of the skull is $-65 \text{ cmH}_2\text{O} + 20 \text{ cmH}_2\text{O}$ (residual pressure) = $-45 \text{ cmH}_2\text{O} = -48 + 15 \text{ mmHg} = -33 \text{ mmHg}$. At the heart level: P_{gauge} varies around Zero according to the heart rate and to the breath phases. These values match with literature data. It is obvious that these values and their causes remain variable according to the stiffness of rigid and collapsible portions of the body, below and above the xiphoid. Particularly, the jugular veins at the neck, that are less protected against the P_{atm} pressure but nevertheless let the blood flow according to the waterfall effect, while the vertebral flow is well shielded by the surrounding osseous tissues. The ascending and descending flows towards the heart are caused by the residual pressure around 10mmHg (result of the push of the arterial pressure through the variable micro circulation). (Fig 10)

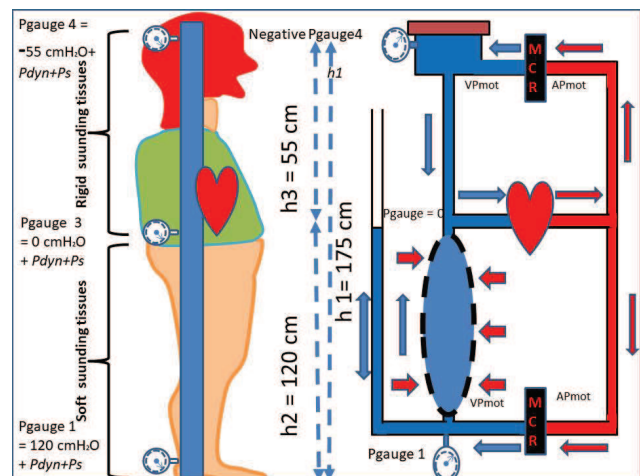


Fig. 10: Comparison between the physical model and the physiology. Head and chest can be assimilated to a rigid shield against the atmospheric pressure (P_{atm}) while the belly and the lower limbs considered as soft bags. MCR - micro-circulatory resistance, P_{dyn} - dynamic pressure, P_s - static pressure, AP_{mot} - arterial pressure, VP_{mot} - venous residual pressure.

22-Air embolism relation to TMP and/or Venturi effect

What causes the air embolism in case of puncture of the jugular vein in standing or sitting position ? If

If the open end of the tube is connected to a collapsible bag and then verticalized in open air, water will remain in the rigid tube, because it is shielded against TMP. On the contrary, the bag collapses because P_{atm} can press it and closes the open end of the rigid tube. If the lower segment of the tube is replaced with a collapsible bag, its inner P_{gauge} is positive in proportion to the height of the water it contains, while it remains negative in the upper rigid tube. (Fig 9)

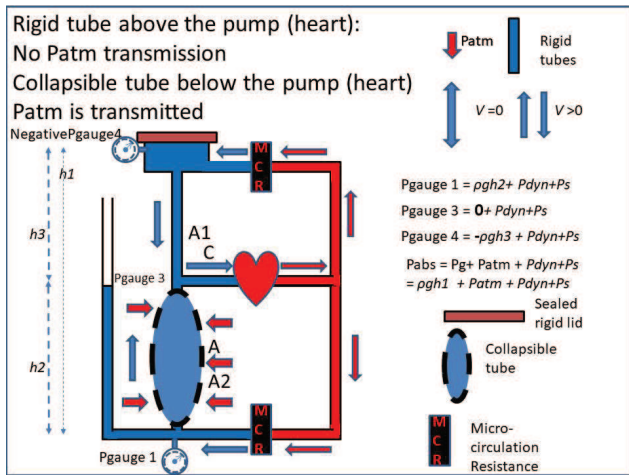


Fig. 9: If A and C rigid tubes are connected to a pump in a closed circuit, $P_{gauge3}=0$ because the circuit is shielded against the atmospheric pressure P_{atm} . But if the tube segment is replaced with a smooth container, the atmospheric pressure is transmitted to it and $P_{gauge1} = \rho gh_2 + P_{dyn} + P_s$, $P_{gauge3}=0$ and $P_{gauge4} = -\rho gh_3 + P_{dyn} + P_s$. A and B = rigid tubes, C=open tube, A1=tube segment above C, A2=tube segment below C. P_g - Gravitational Hydrostatic pressure, P_{atm} - atmospheric pressure, ρ - density, g - acceleration of gravity. v - velocity. MCR - micro-circulatory resistance, P_{dyn} - dynamic pressure, P_s - static pressure.

2- Can this theoretical physical model be applied to the venous system?

21- Positive and negative venous pressure in standing still

We presume that the skull, the cervical spine and the rib cage can be roughly assimilated to a rigid tube as also the abdomen and the lower limbs to a collapsible bag. This gives the Zero P_{gauge} at the xiphoid. The pressure at the foot in standing still:

- Foot-xiphoid distance = 115 cm in a 180 cm tall individual);

- $P_g = 115 \text{ cmH}_2\text{O} = 85 \text{ mmHg}$;
- $P_{gauge} = 85 \text{ mmHg} + P_{dyn} (P_{dyn} + P_s)$;
- $P_{mot} = 95 \text{ mmHg}$;

where P_{mot} is the driving pressure provided by the heart, i.e. the residual pressure. NB! P_{gauge} at the foot, in recumbent position, is worth only $P_{mot} = 10-15 \text{ mmHg}$, because h is around Zero and P_g is negligible. The height of the rigid portion above the xiphoid is 65 cm. P_{gauge} at the top of the skull is $-65 \text{ cmH}_2\text{O} + 20 \text{ cmH}_2\text{O}$ (residual pressure) = $-45 \text{ cmH}_2\text{O} = -48 + 15 \text{ mmHg} = -33 \text{ mmHg}$. At the heart level: P_{gauge} varies around Zero according to the heart rate and to the breath phases. These values match with literature data. It is obvious that these values and their causes remain variable according to the stiffness of rigid and collapsible portions of the body, below and above the xiphoid. Particularly, the jugular veins at the neck, that are less protected against the P_{atm} pressure but nevertheless let the blood flow according to the waterfall effect, while the vertebral flow is well shielded by the surrounding osseous tissues. The ascending and descending flows towards the heart are caused by the residual pressure around 10mmHg (result of the push of the arterial pressure through the variable micro circulation). (Fig 10)

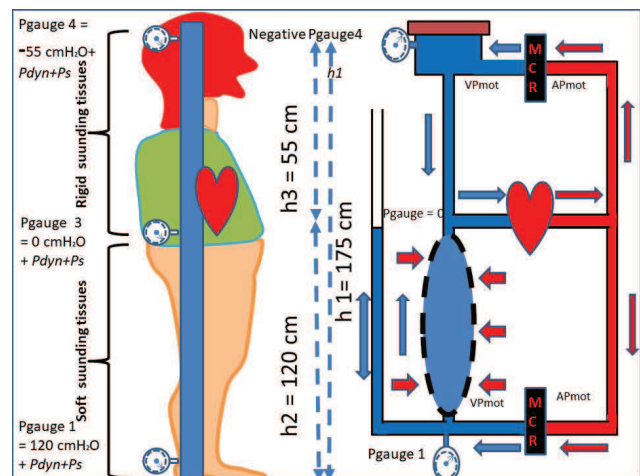


Fig. 10: Comparison between the physical model and the physiology. Head and chest can be assimilated to a rigid shield against the atmospheric pressure (P_{atm}) while the belly and the lower limbs considered as soft bags. MCR - micro-circulatory resistance, P_{dyn} - dynamic pressure, P_s - static pressure, AP_{mot} - arterial pressure, VP_{mot} - venous residual pressure.

22-Air embolism relation to TMP and/or Venturi effect

What causes the air embolism in case of puncture of the jugular vein in standing or sitting position ? If

the Venturi effect may be partly responsible, the negative Intravenous Pressure is a much more relevant cause. Any puncture of the rigid tube will make air enter because TMP is negative (P_{gauge} inferior to P_{atm}). The Venturi effect occurs in addition when the flow velocity is high enough and the column height very short (negligible ρgh or negative in closed tube).

23-Dynamic fractioning of the Gravitational pressure

The pressure at the foot level drops dramatically in normal individuals from 90 mmHg in standing still to 30 mmHg when walking. The reason is necessarily a segmentation of the blood column according to Bernoulli equation. Indeed the more the valves are incompetent, the less the pressure drops. In prolonged standing at rest the venous valves of the lower limbs are not closed, so the blood column is not segmented and transmits its full weight and pressure to the foot. During walking, the P_{gauge} drops down to 30 mmHg. The only way to reduce it, is lowering P_{g} by a segmentation of the hydrostatic column, achieved by the alternate closing of valves below and above the muscular pump of the calf. This phenomenon is called Dynamic Fragmentation of the Gravitational Pressure. (DFGP) (Fig 11) The evidence is provided by an impaired

reduction of pressure during the walk when valves are incompetent.

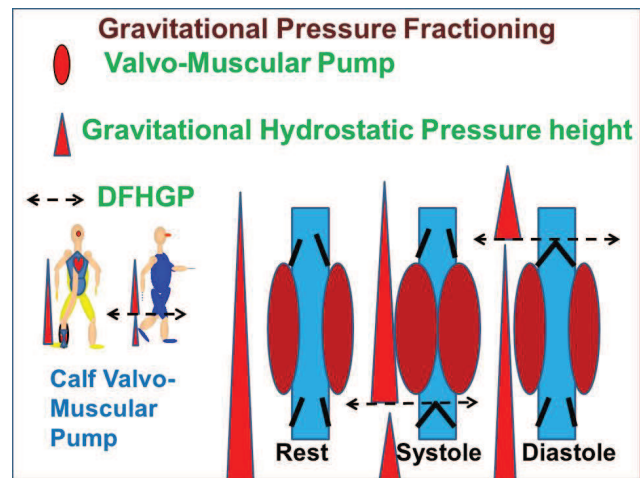


Fig. 11: Dynamic Fractioning of Hydrostatic Gravitational Pressure (DFHGP). Valves keep open at rest and the pressure at the ankle is maximum (90 mmHg). When walking, the pressure drops down to 30 mmHg, because during the systole, the valves close distally to the pump and fractionate the blood column height distally; during the diastole instead, the proximal valves close and fractionate the blood column height proximally.

Conclusion

The pressure discrepancy at the foot in standing still may be explained by hydrostatic laws according to on one hand the vacuum pressure in the head and on the other hand the continuity of the blood column up to the top of the head without any interference with the dynamic

flow which remains independent, according to Bernoulli equation. The additional pressure loss during walking is due to the discontinuity of the blood column, achieved by the dynamic closure of the valves alternatively proximally and distally to the muscle pumps of the legs.

References

- 1) Raju S, Varney E, Flowers W, Cruse G Effect of External Positive and Negative Pressure on Venous Flow in an Experimental Model. Eur J Vasc Endovasc Surg 2016;51:275-84. DOI: [10.1016/j.jvs.2016.01.018](https://doi.org/10.1016/j.jvs.2016.01.018).
- 2) Franceschi C. Why is the venous pressure in standing lower than expected? On line video, available at the address <https://www.youtube.com/watch?v=Udsg8hIzPu8>.
- 3) Bjordal R. Simultaneous pressure and flow recordings in varicose veins of the lower extremity. Acta Chir Scand 1970;136:309-317.
- 4) Recek C, Pojer H. Ambulatory pressure gradient in the veins of the lower extremity. VASA 2000;29:187-90.
- 5) Franceschi C. Dynamic fractionizing of hydrostatic pressure, closed and open shunts, vicarious, varicose evolution: how these concepts made the treatment of varices evolve? Phlebologie 2003;56(1):61-66.

L'effet Venturi peut être en partie responsable, la pression intraveineuse négative est une cause beaucoup plus pertinente. Toute perforation du tube rigide fera entrer de l'air car TMP est négatif ($P_{\text{gauge}} \text{ inférieur à } P_{\text{atm}}$). L'effet Venturi se produit en plus lorsque la vitesse d'écoulement est élevée.

assez et la hauteur de la colonne très courte (négligeable p_{gh} ornégative dans le tube fermé).

23-Fractionnement dynamique de la pression gravitationnelle

La pression au niveau du pied chute de manière spectaculaire chez les individus normaux, passant de 90 mmHg en position debout à 30 mmHg en marchant. La raison est nécessairement une segmentation de la colonne sanguine selon l'équation de Bernoulli. En effet, plus les valves sont incompétentes, moins la pression chute. En restant longtemps debout au repos, les valves veineuses des membres inférieurs ne se ferment pas, de sorte que la colonne sanguine n'est pas segmentée et transmet son poids et sa pression complets au pied. Lors de la marche, la pression chute à 30 mmHg. Le seul moyen de la réduire est de diminuer P_{g} en segmentant la colonne hydrostatique, réalisée par la fermeture alternée des valves en dessous et au-dessus de la pompe musculaire du mollet. Ce phénomène est appelé Fractionnement Dynamique de la Pression Gravitationnelle (DFGP) (Fig 11). Les preuves sont fournies par une altération

réduction de la pression pendant la marche lorsque les valves sont incompétentes.

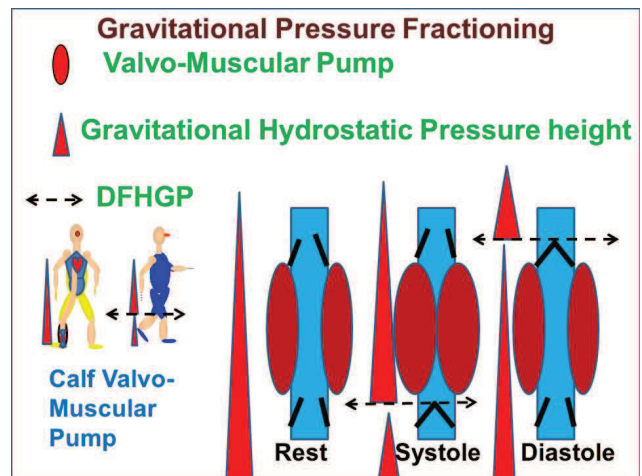


Fig. 11 : Fractionnement dynamique de la pression gravitationnelle hydrostatique (DFHGP). Les valves restent ouvertes au repos et la pression à la cheville est maximale (90 mmHg). En marchant, la pression chute à 30 mmHg, car pendant la systole, les valves se ferment distalement à la pompe et fractionnent la hauteur de la colonne de sang distalement ; pendant la diastole, au contraire, les valves proximales se ferment et fractionnent la hauteur de la colonne de sang proximale.

Conclusion

La disparité de pression au niveau du pied en restant immobile peut s'expliquer par les lois hydrostatiques en fonction d'une part de la pression du vide dans la tête et d'autre part de la continuité de la colonne sanguine jusqu'au sommet de la tête sans aucune interférence avec le dynamique.

Le flux qui reste indépendant, selon l'équation de Bernoulli. La perte de pression supplémentaire lors de la marche est due à la discontinuité de la colonne de sang, obtenue par la fermeture dynamique des valves de manière alternative proximale et distalement aux pompes musculaires des jambes.

Références

Effet de la pression externe positive et négative sur le flux veineux dans un modèle expérimental. Eur J Vasc Endovasc Surg 2016;51:275-84. DOI: 10.1016/j.jvs.2016.01.018.

Franceschi C. Pourquoi la pression veineuse en position debout est-elle inférieure à ce qui est attendu ? Vidéo en ligne, disponible à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=Udsg8hlzPu8>.

3) Bjordal R. Enregistrements simultanés de pression et de débit dans les veines variqueuses de l'extrémité inférieure. Acta Chir Scand 1970;136:309-317.

4) Recek C, Pojer H. Gradient de pression ambulatoire dans les veines de l'extrémité inférieure. VASA 2000;29:187-90.

5) Franceschi C. Fractionnement dynamique de la pression hydrostatique, dérivations fermées et ouvertes, évolution vicariante et variqueuse : comment ces concepts ont fait évoluer le traitement des varices ? Phlébologie 2003 ; 56(1) : 61-66.