Aucun article ou résumé dans cette revue ne peut être reproduit sous forme d'imprimé, photocopie, microfilm ou par tout autre procédé sans l'autorisation expresse des auteurs et de l'éditeur. Editions Phlébologiques Françaises
No article or abstract in this journal may be reproduced in the form of print, photocopy, microfilm or any other means without the express permission of authors and the editor. Editions Phlébologiques Françaises

Phlébologie 2009, 62, 4, p. 53-57

La pompe musculaire du mollet : « cœur » du système veineux – Rôle du cycle musculaire systole-diastole.

The calf muscle pump: "heart" of the venous system. The role of the muscular systolic-diastolic cycle.

Dagrada A.

Résumé

L'insuffisance veineuse, à l'instar de l'insuffisance cardiaque, suggère l'idée d'une inefficacité du retour veineux. Le cœur est la pompe bien identifiable propulsant le sang dans les artères jusqu'au bout des orteils dans n'importe quelle position.
Par contre, le retour veineux du sang jusqu'au cœur est sous la dépendance de nombreux facteurs, et notamment la position du corps.
Ainsi la station debout immobile ajoute l'importante contrainte de la pesanteur : la pression hydrostatique (générée par la pesanteur) transforme rapidement les veines des membres inférieurs, du fait de leur déformabilité, en un réservoir de sang.
La marche permet par l'alternance de contractions et décontractions des muscles de chaque mollet d'éjecter vers l'atrium droit de petits volumes de sang, vidant le réservoir veineux des membres inférieurs, à la manière d'un cœur périphérique.
Son efficacité en fait l'élément fondamental du retour veineux en position debout, mais de multiples dysfonctionnements peuvent perturber ce système. La vigilance à leur encontre peut permettre d'envisager plus globalement le traitement des affections veineuses chroniques des membres inférieurs.

Mots clés : *pompe musculaire du mollet, retour veineux, insuffisance veineuse, fractionnement de colonne de pression.*

Summary

Venous insufficiency, like cardiac insufficiency, implies the concept of a failure of venous return. The heart is obviously the pump which propels the blood in the arteries to the tips of the toes whatever the position of the body.
On the other hand, the mechanism which ensures the return of venous blood to the heart is multifactorial and depends particularly on the position of the body.
Thus, when standing still, gravity is an important added factor: because of the hydrostatic pressure (produced by gravity) the veins of the lower limbs are rapidly distended and become a reservoir of blood.
The alternating contractions and relaxations of the calf muscles during walking act as a peripheral heart and eject small volumes of blood into the right atrium, thus emptying the venous reservoir of the lower limbs.
When standing still, it constitutes the main mechanism ensuring venous return, provided it functions efficiently, as there are many conditions which can disturb this mechanism: these must be identified to ensure the proper overall management of chronic venous disorders of the lower limbs.

Keywords: calf muscle pump, venous return, venous insufficiency, fractionation of the pressure column.

Introduction

• Pourquoi parler de la pompe du mollet ?

L'effet de la contraction musculaire comme moteur du retour veineux est connu depuis le début du XIXe siècle, notamment avec les travaux du Chevalier Richerand [1] et de Starling [2].

Néanmoins, il ne faisait pas référence spécifiquement au mollet, et ce mécanisme n'était pas identifié comme principal. Pourtant, les principales difficultés du retour veineux sont en position debout et, dans cette position, les mollets sont de puissants muscles sollicités en permanence (maintien de l'équilibre et marche), ce qui nous conduit à nous intéresser particulièrement à l'effet physiologique de ce système.

72, rue Jean Mermoz, 44340 Bouguenais.
Accepté le 10 octobre 2009

Aucun article ou résumé dans cette revue ne peut être reproduit sous forme d'imprimé, photocopie, microfilm ou par tout autre procédé sans l'autorisation expresse des auteurs et de l'éditeur. Editions Phlébologiques Françaises
No article or abstract in this journal may be reproduced in the form of print, photocopy, microfilm or any other means without the express permission of authors and the editor. Editions Phlébologiques Françaises

• Quels sont les enjeux de cette connaissance ?

Une bonne compréhension des différents aspects de cette pompe permet de mieux éclairer la physiologie du retour veineux. De-là une meilleure compréhension de la physiopathologie, de l'action spécifique des traitements possibles, et donc d'une part un choix plus judicieux de l'arsenal thérapeutique en fonction du niveau de dysfonctionnement de la pompe musculaire du mollet et, d'autre part, une utilisation plus aisée des **nouveaux traitements**.

• Quelles sont les principales difficultés dans l'abord de la pompe du mollet ?

D'abord, sa compréhension met en jeu différentes modélisations touchant chaque composant de cette pompe. Ensuite, son action globale a des liens de dépendance avec l'action d'autres acteurs de la propulsion du sang. Enfin, son efficacité est difficilement estimable directement. Il s'agit donc d'un système complexe, c'est-à-dire constitué de plusieurs éléments, l'efficacité de l'action de chacun de ces éléments dépend de l'action des autres, soumise à des aléas (anatomie, circonstances comme la marche ou le piétinement, pathologies...).

Les objectifs de cette présentation sont d'exposer les raisons de la classique comparaison entre le mollet et le cœur, et d'expliquer les principaux mécanismes de la pompe veineuse musculaire du mollet.

De là, nous évoquerons les principaux dysfonctionnements et donc l'intérêt qu'il y a de réaliser au cas par cas l'analyse des différents éléments de cette mécanique subtile afin de déceler les altérations constituant des cibles thérapeutiques potentielles et ainsi élaborer une stratégie de prise en charge pertinente.

La pompe musculaire du mollet, « cœur » du système veineux

La notion de « cœur du système veineux » est à considérer à la fois au sens littéral et au sens figuré. Au sens figuré, car le cœur d'un système est une expression désignant la partie la plus importante de ce système, la plus fondamentale, sans laquelle le système n'est pas viable. Ainsi, l'effet des contractions des muscles du mollet sur la circulation veineuse est l'élément le plus efficace pour assurer le retour du sang veineux jusqu'au cœur lorsque le sujet est debout. Au sens littéral, le mollet est un muscle fonctionnant, comme le cœur, sur le modèle d'une pompe à 2 temps : la contraction musculaire (ou systole) propulse le sang dans le réseau vasculaire, tandis que le relâchement musculaire (ou diastole) permet le remplissage de la chambre de chasse, diminuant ainsi les pressions et résistances d'amont.

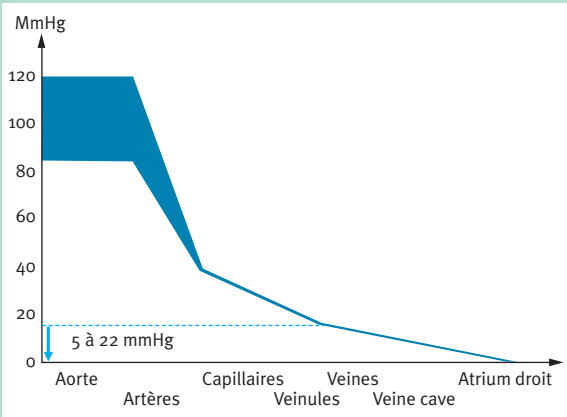

FIGURE 1 : Distribution des pressions le long du réseau vasculaire chez le sujet couché (d'après [3]).

• La principale contrainte : la pesanteur et ses effets

Différents systèmes permettent le retour du sang veineux de la périphérie vers le cœur. La position du corps est responsable de l'importance de leur rôle essentiellement du fait de la pesanteur.

• Le différentiel de pression dynamique vasculaire

Chez le sujet couché immobile **(Figure 1)**, le cœur propulse le sang dans le réseau artériel de la grande circulation. Les artères de gros calibre offrent peu de résistance, mais les artères de calibre de plus en plus petit absorbent une grande partie de la pression artérielle. La pression diminue encore davantage le long des capillaires, lieu où les échanges se font. En conséquence de quoi il résulte une faible différence de pression (résiduelle) permettant le retour du sang de la cheville à l'atrium droit : la pression postcapillaire à la cheville est d'environ 15 à 20 mmHg tandis que la pression atriale avoisine – 2 à 10 mmHg, soit un différentiel de pression de 5 à 22 mmHg.

• Pression vasculaire totale en position debout immobile

Chez le sujet debout et immobile, aux pressions vasculaires dynamiques schématisées dans le graphique de la **Figure 1**, il faut ajouter l'effet de la pesanteur sur le fluide sanguin, générant une pression dite hydrostatique ($P = \rho gh$, où ρ est la densité du sang, g est l'accélération de la pesanteur, et h la différence de hauteur entre le point considéré du réseau vasculaire et le cœur) à l'endroit considéré. Vu la composante de hauteur par rapport au cœur, la pression augmente à la partie basse du corps. Et donc la cheville et le pied sont soumis aux plus fortes pressions, ce qui explique la survenue d'œdème à cet endroit.

Aucun article ou résumé dans cette revue ne peut être reproduit sous forme d'imprimé, photocopie, microfilm ou par tout autre procédé sans l'autorisation expresse des auteurs et de l'éditeur. Editions Phlébologiques Françaises
No article or abstract in this journal may be reproduced in the form of print, photocopy, microfilm or any other means without the express permission of authors and the editor. Editions Phlébologiques Françaises

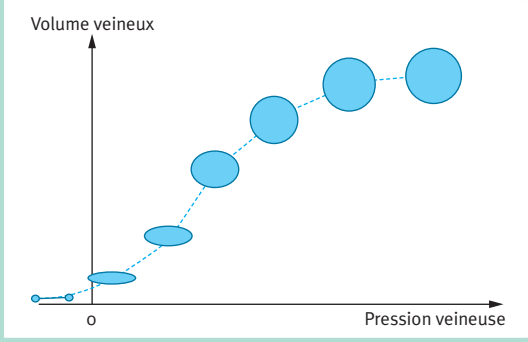

FIGURE 2 : Évolutions de la forme de la section veineuse et du volume contenu dans la veine, en fonction de la pression interne (d'après [4]).

- **La déformabilité veineuse**

Grâce à ses capacités de déformation, les veines soumises à une forte pression augmentent leur contenance **(Figure 2)**. Ainsi, en position debout, les veines ainsi dilatées se transforment en réservoir de sang, ce qui ralentit le remplissage cardiaque.

Les différents facteurs du retour veineux en position debout sont les suivants :

– Le différentiel de pression dynamique : malgré l'augmentation de pression totale, le sang veineux circule toujours à faible vitesse en position debout de la périphérie vers l'atrium droit.

– La pompe veineuse plantaire : elle est activée par la marche, elle a une efficacité moins importante que la pompe musculaire du mollet et peut être considéré comme une amorce à l'ascension du flux veineux.

– La pompe musculaire du mollet : elle est activée par la marche et les contractions de maintien postural.

– La pompe musculaire de la cuisse : elle est activée par la marche mais est moins efficace que la pompe du mollet.

– La pompe diaphragmatique : elle est activée par l'alternance inspiration-expiration.

– Les pulsations des artères de voisinage.

Analyse des différents éléments constitutifs de la pompe musculaire du mollet :

- **Le système valvulaire veineux**

Il s'agit de replis de la paroi veineuse interne, l'intima, ce qui constitue un système anti-retour permettant de diriger le flux sanguin : ouvertes elles permettent un flux dirigé vers l'atrium droit **(Figure 3, à gauche)**, fermées elles empêchent un flux dans le sens contraire **(Figure 3, au milieu)**.

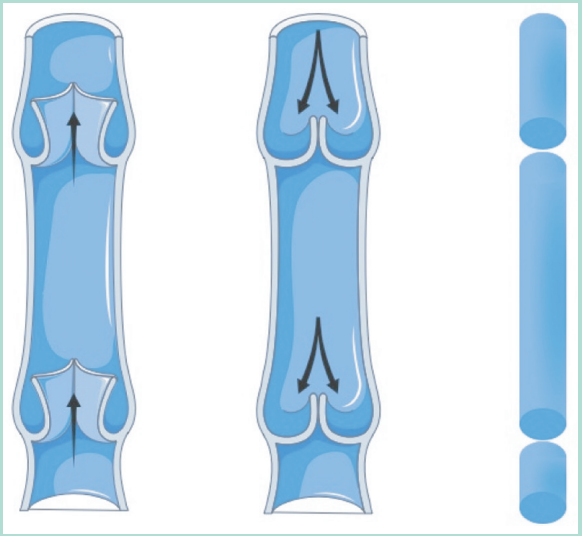

FIGURE 3 : Système valvulaire veineux dirigeant le flux et fractionnement de la colonne sanguine.

L'ensemble des valvules, qui sont surtout présentes en distalité des membres inférieurs, permet par leur fermeture, un fractionnement de la colonne de sang **(Figure 3, à droite)** entre la cheville et le cœur, ce qui diminue donc la pression hydrostatique. En effet cette pression dépend de la colonne continue de sang entre le point considéré et le cœur.

- **Le muscle triceps sural** [5]

Anatomie

Le triceps sural est un muscle constitué par 2 plans : un plan superficiel formé par le muscle gastrocnémien (muscles jumeaux) et un plan profond formé par le muscle soléaire.

Le muscle gastrocnémien est constitué de 2 chefs (latéral et médial), qui naissent de l'extrémité inférieure du fémur, de forme ovalaire (le médial étant plus épais et long) et convergent vers le bas.

Le muscle soléaire naît par des fibres tendineuses de la fibula, du tibia et de l'arcade tendineuse du soléaire. Son ventre, épais et plat, est constitué de fibres musculaires de part et d'autre d'une lame tendineuse.

Les lames tendineuses des deux muscles fusionnent pour former le tendon calcanéen dans la région moyenne de la jambe.

La qualité des aponévroses entourant les muscles est un élément très important. Leur rigidité permet une transmission de la pression engendrée par le muscle lors de sa contraction aux structures intramusculaires. En cas de diminution de cette rigidité, une partie de cette pression de contraction sera perdue dans la déformation de l'aponévrose.

Aucun article ou résumé dans cette revue ne peut être reproduit sous forme d'imprimé, photocopie, microfilm ou par tout autre procédé sans l'autorisation expresse des auteurs et de l'éditeur. Editions Phlébologiques Françaises
No article or abstract in this journal may be reproduced in the form of print, photocopy, microfilm or any other means without the express permission of authors and the editor. Editions Phlébologiques Françaises

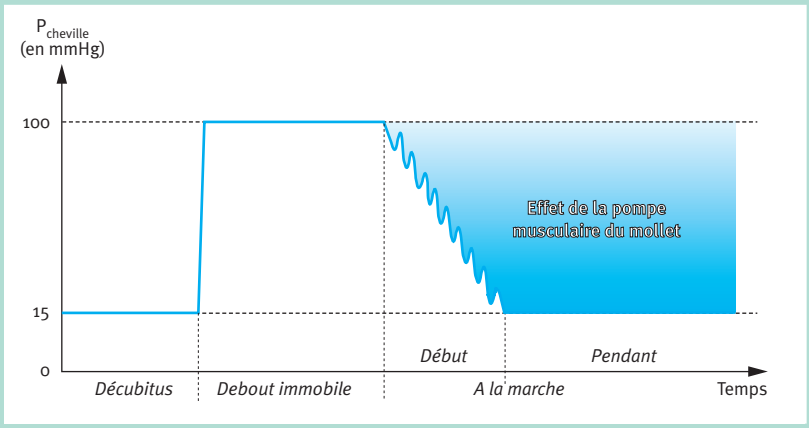

FIGURE 4 : ***Effets de la posture et du mouvement sur la pression veineuse au niveau de la cheville.***

Fonctionnement de la pompe veineuse du mollet [6, 7]

• Actions du muscle triceps sural

Le triceps sural est le muscle essentiel de la marche et du saut. Il permet l'extension du pied (flexion plantaire) par l'action du muscle soléaire (genou fléchi) et du triceps (genou tendu), ce qui aboutit à l'appui sur la pointe du pied et les orteils.

Un rôle accessoire du muscle gastrocnémien est la flexion de la jambe sur la cuisse quand le pied est en extension.

Le soléaire est le principal muscle stabilisateur de la jambe sur le pied intervenant donc dans le maintien (recherche permanente) de l'équilibre en position debout.

• La position debout immobile

Dans cette situation, les muscles du mollet sont relâchés, par conséquent, les valvules veineuses sont ouvertes avec une circulation sanguine lente. La pression veineuse à la cheville est maximale : les valvules étant ouvertes, la colonne de sang entre la cheville et le cœur est continue. La pression hydrostatique tient donc compte de toute cette hauteur.

• La position debout à la marche

La contraction musculaire de la jambe d'appui (phase unipodale du pas) provoque une augmentation forte de la pression dans les veines intramusculaires (200 à 300 mmHg). Le volume de sang contenu dans ces veines, augmenté par l'accroissement de la pression lié à la position debout et la déformabilité veineuse, fuit vers les zones de moins forte pression : vers le bas et vers le haut. Les valvules hautes permettent le passage du sang en s'ouvrant (sens antérograde), tandis que les valvules basses empêchent le passage du sang (sens rétrograde), ceci aboutissant à l'éjection ascendante du contenu des veines musculaires.

La fermeture de la valvule basse, associée à la vidange de l'espace intervalvulaire sus-jacent, aboutit au fractionnement de la colonne sanguine, élément fondamental de la diminution de la pression veineuse.

L'éjection de ce volume sanguin vers le haut effectue une aspiration du sang du réseau veineux superficiel à travers les perforantes musculaires. Il s'abouche dans le réseau veineux profond, dirigé physiologiquement vers le haut par la continence des valvules de ces veines, et aspirant le volume sanguin du réseau veineux profond sous-jacent.

Le relâchement musculaire de la jambe levée (phase unipodale du pas) provoque une diminution forte de la pression dans les veines intramusculaires. La pression sus-jacente devenant plus importante, les valvules hautes se ferment, aboutissant au fractionnement de la colonne sanguine (et à la diminution de la pression veineuse).

Parallèlement, les valvules basses s'ouvrent (la pression veineuse intramusculaire étant plus faible que dans le réseau veineux sous-jacent), entraînant une aspiration ascendante du contenu veineux distal.

La **Figure 4** décrit les effets de la posture et du mouvement sur la pression veineuse au niveau de la cheville d'après Dauzat [4].

En décubitus, la pression veineuse à la cheville est basse (15 mm de Hg).

Elle augmente très rapidement lors de la mise debout en position immobile pour se stabiliser à un niveau élevé (100 mmHg) correspondant à la pression postcapillaire (15 mmHg) à laquelle s'ajoute la pression hydrostatique (85 mmHg).

Au début de la phase de marche, elle diminue progressivement par petites oscillations (une dizaine environ) correspondant à l'éjection progressive de petits volumes de sang par la contraction musculaire et au fractionnement dynamique de la colonne de pression.

Au cours de la phase de marche, la pression à la cheville se stabilise à un niveau bas (15 mmHg).

Aucun article ou résumé dans cette revue ne peut être reproduit sous forme d'imprimé, photocopie, microfilm ou par tout autre procédé sans l'autorisation expresse des auteurs et de l'éditeur. Editions Phlébologiques Françaises
No article or abstract in this journal may be reproduced in the form of print, photocopy, microfilm or any other means without the express permission of authors and the editor. Editions Phlébologiques Françaises

Principaux dysfonctionnements possibles, d'après Ramelet et al. [8]

Ils peuvent se situer au niveau de chaque élément de cet ensemble fonctionnel, de nature constitutionnel ou acquis, permanent ou transitoire, et influencé par l'activité. Chaque élément défaillant entrave l'efficacité globale et diminue ainsi la capacité fonctionnelle du retour veineux.

- **Articulaires**

Toutes les limitations d'amplitude peuvent entraîner un dysfonctionnement, qu'elles touchent directement les articulations mobilisées par le mollet (la cheville et le genou) ou les articulations à distance (pied, hanche, bassin, rachis). Par le jeu des contractions musculaires (notion de chaînes musculaires), la compensation du dysfonctionnement articulaire altère l'efficacité ou l'amplitude de la contraction des muscles du mollet (ex : arthrose, arthrite, immobilisation plâtrée...).

- **Musculaire**

De la même manière que le dysfonctionnement articulaire, le dysfonctionnement musculaire peut être direct (les muscles du mollet) ou indirect par l'intermédiaire des chaînes musculaires (ex : déchirure, amyotrophie par immobilisation prolongée ou par le vieillissement, myopathie, neuropathies...).

- **Aponévrotique**

La diminution de rigidité des aponévroses limite l'augmentation de la pression dans les veines musculaires lors de la contraction. L'efficacité sur l'éjection sanguine est donc plus faible et le fractionnement dynamique de la colonne sanguine moins efficace (ex : vieillissement, insuffisance veineuse...).

- **Veineux**

Plusieurs troubles de la circulation veineuse peuvent perturber l'éjection musculaire du sang veineux vers le cœur, que ce soient des anomalies pariétales ou de perméabilité (ex : agénésie valvulaire, syndrome post-thrombotique de dévalvulation ou obstructif, varices et shunts...).

- **Fonctionnel**

Sans altération permanente de la fonction des différents constituants de la pompe veineuse du mollet, certaines circonstances font que cette pompe est insuffisamment utilisée, d'où l'expression « d'insuffisance veineuse fonctionnelle ». Par exemple : le piétinement et la station debout prolongée, la mobilisation insuffisante, les douleurs.

Conclusion

L'intégrité de toutes les structures constitutives de la pompe musculaire du mollet, et au-delà de certains éléments de l'environnement régional et général, contribue à un retour veineux efficace.

Des atteintes à tous les niveaux sont possibles, se traduisant principalement par une altération de la marche, et sont rencontrées en pratique quotidienne. La vigilance de tous les acteurs de santé est nécessaire pour optimiser au maximum la prise en charge des patients souffrant d'affection veineuse chronique ou aiguë afin de composer la meilleure association thérapeutique possible.

Quels efforts chacun peut-il faire pour aller dans ce sens ? Il convient d'assurer individuellement une meilleure collaboration entre professionnels.

Références

1. Le Chevalier Richerand. Nouveaux éléments de physiologie. Tome 1. Paris, 1817.
2. Starling E.H. Elements of Human Physiology. London, 1897.
3. Partsch H., Rabe E., Stemmer R. Traitement compressif des membres. Paris : Éditions Phlébologiques Françaises, 2000, 416 pages. ISBN 2-85480-939-4.
4. Dauzat M., et al. Manuel de physiologie cardiovasculaire intégrée. Montpellier : Sauramps Médical, 2002, 197 pages. ISBN 2-84023-293-6.
5. Kamina P. Myologie du membre inférieur. In : Précis d'anatomie clinique. Tome 1. Paris : Maloine, 2002, pp. 460-2. ISBN 2-224-02722-2.
6. Bassez S., Flaud P., Ouchène A. Hémodynamique de la circulation veineuse. In : Gardon-Mollard C., Ramelet A.-A. La compression médicale. 2e Ed. Paris : Masson, 2008, pp. 27-35. (collection Abrégés de médecine). ISBN 978-2-294-09371-5.
7. Boisseau M.R., et al. Physiologie de la circulation veineuse. In : Traité EMC Angiologie. Paris : Elsevier Masson, p. 19-40. ISBN 978-284-299025-1.
8. Ramelet A.-A., et al. Physiologie veineuse. In : Phlébologie. 5e Ed. Masson, 2007, p. 53-62 (collection Abrégés de médecine). ISBN 978-2-294-01736-6.