

スライド 1 表紙

こんばんは。私はゲイリー・リウと申します。オーストラリアのシドニー出身です。本日は、KIPS MEETING に招待していただき、感謝の意を表したいと思います。今回、私は解剖学と静脈血行動態に基づいた静脈波形について発表します。

スライド 2 Venous Anatomy

静脈解剖学の知識は重要です。血管の走行だけでなく、異なる静脈間の接続も、静脈の血行動態に大きな影響を与え、圧力勾配を決定する要素となります。静脈系は、古典的に深部、表在、穿通枝の 3 つのグループに分けられます。

大腿静脈は内転筋管からスカルパ三角まで上昇します。単一ときに重複しており、大腿深部静脈によって結合され、大腿三角形の中央部で総大腿静脈へ繋がります。

膝窩静脈は、膝窩筋の下縁で前脛骨静脈と後脛骨静脈が合流して形成されます。多くの場合、とくに膝関節線の下で重なり、膝静脈、腓腹静脈などへ流入します。持続性坐骨静脈

(Persistent sciatic vein) はまれな静脈異常であり、推定発生率は 0.03~0.06% と言われています。胎児期には、坐骨動脈が下肢の主要な栄養動脈であり、この軸静脈 (axial vein) は坐骨動脈とともに上行し、支配的な流出経路として機能します。12 週目に入り大腿骨系が完全に発達すると、一般的に坐骨静脈は退縮して、完全に消失します。遠位の持続性坐骨静脈 (Persistent sciatic vein) は通常、小伏在静脈および膝窩静脈と交通します。

大伏在静脈は、内果の前を通過し、ふくらはぎの前内側表面に沿って進みます。大腿部では前内側表面に沿って上昇し、伏在裂孔を通過してから総大腿静脈へ流入します。

小伏在静脈は、外果の後方を走り、ふくらはぎの後面に沿って腓腹神経とともに上行し、腓腹筋頭を通過して膝窩静脈へ至ります。

ジャコミニ静脈は、筋膜鞘内で大腿後部に沿って上行し、少なくとも 50% は大伏在静脈で終わり、その他は大腿穿孔筋、大腿深部静脈の下臀部静脈に流れると言われています。

「スターサイン」は、SFJ の 5 つの分枝を表すために使用されます。AASV と PASV はどちらも大伏在静脈と同様に合流部に向かって血流を運びますが、他の 3 つの分枝静脈は SFJ に向かって下向きに流れ、バルサルバ手技によって描出することができます。

スライド 3 Venous Anatomy

これらのイラストは、大伏在静脈と小伏在静脈の異なる走行パターンを表しています。さまざまなレベルにおいて、伏在静脈が存在しないことも見受けられ、その機能は交通する分枝や副伏在静脈によって引き継がれます。

スライド 4 Venous Anatomy

脚には 120 以上の穿通枝があります。歴史的に、最も頻繁に見られる穿通枝は、左側の表にあるように解剖学者の名前が付いています。しかし、コンセンサス文書では、右側に示すように、解剖学的位置に基づいて穿通枝を 6 つのグループに分類しています。実際、静脈不全の検査を行う際、すべての穿通枝を私たちが完璧に調べる必要があるというわけではありません。穿通枝の構造と機能を理解して検査をすることで、静脈疾患の治療を成功へ導く手助けになるような、正確な診断を行うことが目的です。

皆さんがご存じのように、穿通枝の主な役割は、表在から深部への血流を確保することです。通常、静脈弁がある場合、弁が閉じることによってその役割がなされます。しかし、一部の穿通枝には弁がありません。この場合、一方向の流れとなり、穿通枝周囲の筋肉の圧縮によって血流が生まれます。血行力学的観点からは、双方向の流れを持つ穿通枝がよく見られます。これらの穿通枝は、深部システムと表在システムの間で圧均等を保つ役割をしています。これについては、後のスライドで説明します。

スライド 5 Venous Anatomy

ふくらはぎの穿通枝は、筋肉の収縮中に圧迫されることがあります。それをお見せするために、このシネループを入れました。

スライド 6 Venous Hemodynamics

1998年、クロード・フランチェスキ先生は、解剖学的コンパートメントを参照して、解説的な血行力学的用語を導入しました。正常な静脈血流は、遠位静脈から近位静脈へ向かい、足から心臓へと流れます。概略図が示すように、生理的ドレナージはN3からN2、N1の順序に従います。この順序に従わないものは、病的であると見なすことができ、その結果、コンパートメントがスキップされ、シャントフローが発生します。

スライド 7 Shunt Types

シャントにはさまざまな形態があり、どのタイプのシャントにおいても、流出ポイント、逆流経路、および再流入ポイントを特定する必要があります。

スライド 8 Venous Hemodynamics

逆流源は、血流を病的なコンパートメントへ変化させるポイントです。例えば、N1からN2、N1からN3、またはN2からN3などがそうです。逆流経路は、病的に逸脱した血液を運ぶ静脈を指します。再流入ポイントは、不全な表在静脈が深部静脈に流出される点です。再流入ポイントの数は、疾患の重症度と静脈の解剖学的構造に応じて異なる場合があります。通常、とくに遠位ふくらはぎの穿通枝は再流入ポイントとして機能することができ、逆流量が多いと拡張し、筋肉の拡張期に内向きの流れを示します。穿通枝の直径は、表在システムの過負荷量に比例します。そのため、これらの穿通枝は、表在性逆流を閉塞すると小さくなります。ときに、再流入ポイントは逆流分枝静脈が伏在静脈に合流する点でもあります。静脈ネットワークは複雑なドレナージシステムであり、そのメカニズムは筋ポンプ、静脈弁、および静脈の相互接続に基づいて機能します。流れは生理学的または病的のいずれかです。生理学的流れは通常、順行性の流れまたはN3からN2への血流、およびN2からN1への血流、または直接N3からN1への血流として説明されます。ですので、逆方向の流れは病的と言えます。

「ドレナージの流れはどちらの方向にあるべきか？」という疑問が生じます。実際、通常では逆流は逆戻りの流れで、乱流であり、高速です。流出する流れは逆行する可能性があります。逆流源が遮断されている場合、層流で低速になります。ドレナージは生理学的であり、再流入ポイントがある限り、静脈壁にストレスを与えることはありません。

スライド 9 Provocation Maneuvers

動脈とは対照的に、表在静脈の流れは自発的ではなく、呼吸相の流れである可能性があります。特に安静時の立位では、動脈ネットワークからの残圧である「Vis-a-tergo (ラテン語) 後ろから押す力」は静脈を動かす力として十分ではありません。弁機能と能力を評価するためには、近位または遠位静脈の圧力を増加させるために、圧力勾配を作り、流れを誘発する必要があります。

スライド 10 Normal Venous Waveforms (deep)

深部静脈の場合、通常、呼吸変動を伴う自発的な順行性の流れがあります。流れが遠位で増強されると、スペクトル・ドップラー波形で体積と速度の増加が観察されます。バルサルバを行うと、胸腹圧の上昇により血流が停止し、呼気時に再開します。

スライド 11 Abnormal Venous Waveforms (deep)

心臓拍動による変動流は、中心静脈閉塞がない限り、IVCなどの心臓に近い静脈で観察する必要があります。下肢の深部静脈が拍動性の逆流を示し、両側性である場合、そのドップラー波形は、患者が三尖弁逆流を起こしていることを示しています。

スライド 12 Abnormal Venous Waveforms (deep)

超音波検査の経験豊富な方は、血栓化した静脈や血管内焼灼術後の部分的に再開通した静脈に拍動性の流れを見たことがあると思います。これらは炎症によって引き起こされた、新生血管が原因かも知れません。流れが不安定で連続的になる場合、これは遠位静脈への呼吸による影響を妨げる近位静脈閉塞の間接的な兆候と言えます。閉塞は血栓や外因性圧迫によって引き起こされる可能性があり、片側性の場合、病状は腸骨-大腿静脈に存在する可能性があります。両側の連続血流は、両側の腸骨-大腿または下大静脈疾患に関連している可能性があります。

スライド 13 Normal Venous Waveforms (Superficial)

深部静脈とは異なり、立位の表在静脈は通常、自発的な位相の流れを示しません。従って順行性の流れは、ふくらはぎの圧迫や筋肉の収縮によって起こります。筋弛緩時には、カットオフより短い持続時間の急速な逆流が、正常の流れと見なされます。これらのカットオフ値は、正常および異常な静脈還流の研究において Nicos Labrapoulous 先生により報告されています。

スライド 14 Reflux Flow Profile

左の画像ですが、速度波形を見ると、大伏在静脈の逆流は0.5秒より長く続き、伏在静脈不全であることがわかります。拡張期だけを見ると、曲線の下の特クトル・ウィンドウから、逆流が層流か乱流かがわかります。層流にははっきりとしたウィンドウがあります。一方、乱流には特クトルの広がりがあり、これは流れが流出か逆流かを判断するのに役立ちます。右の画像では流れを誘発するため、つま先を挙上すると、収縮期逆流と拡張期逆流の2段階で逆流が起こることがわかります。画像では、収縮期逆流は、筋肉収縮期の短い低速の逆流として示されています。これに続き筋肉の弛緩中、高速で持続的な乱流を伴う拡張期逆流が起こります。

スライド 15 Abnormal Venous Waveforms (Superficial)

フロー・カーブは、ドレナージと静脈コンプライアンスの状態を反映します。十分なドレナージシステム下では、筋肉の拡張期に高速の体積逆流が発生します。多くの場合、左の画像で示されているように、患者は拡張した静脈と大きな穿通枝を遠位部に伴っています。対照的に、逆流が十分に流出されず、遠位静脈のコンプライアンスがそれほど悪くない場合、ゆっくりとした長時間の逆流が起こります。

スライド 16 Abnormal Venous Waveforms (Superficial)

時々、多層に渡って収縮期の流れが見られます。左の画像では、順行性の流れは筋肉の収縮期に誘導されますが、筋肉が弛緩する前に、増大した流れが下向きに移動し、測定されたセグメントのすぐ下にある弁によって跳ね返りを起こしているように見えます。右の画像では、大伏在静脈の血流は筋収縮期に順行方向に増加します。そして収縮期の終わりには測定されたセグメント下において、分枝または穿通枝により順行性の第2波があるように見えます。

スライド 17 Abnormal Venous Waveforms (Superficial)

どちらの画像も、拡張期前に血流が停滞しています。左の画像では、拡張期血流には2つの要素があります。急速な逆流と、それに続く長時間の低速逆流です。この場合、逆流した分枝静脈は測定された静脈セグメントの上にある、可能性がとて高いと思われます。右の画像では、血流の停滞は主にリエントリーの穿通枝閉鎖によるものです。

スライド 18 Abnormal Venous Waveforms (Superficial)

左の画像、ドップラー信号は、ターミナル・バルブのすぐ上で測定されました。筋肉の拡張期の流れは0.5秒未満であり、ターミナル・バルブが機能していることを示しています。右の画像、測定部を下方に移動し、TVとPTVの間にしました。低速の逆流はスペクトル波形で明らかであり、PTVがSFJの分枝からの漏出を止めるのに十分に機能していないことを示しています。

スライド 19 Abnormal Venous Waveforms (Superficial)

低抵抗性の流れは、大伏在静脈焼灼後にSFJで観察されます。この原因としては、医原性AVFや血管新生などが考えられます。

スライド 20 Abnormal Venous Waveforms (Superficial)

表在静脈の拍動性血流は、右心不全またはAVFとは関係がない場合があります。この現象は、速度が周期的に変化する順行性の流れとして「Saphenous pulsation; 伏在脈動」と呼ばれます。TEMまたはふくらはぎの圧迫により、静脈リザーバーが再充填されるまでSPが一時的に停止する可能性があります。SPはCVD;慢性静脈不全の後期C4~C6で頻繁に観察され、動脈の衝撃が表在静脈ネットワークに伝達される微小循環障害を表すため、と考えられています。

スライド 21 Abnormal Venous Waveforms (Superficial)

この症例はシャント3型です。収縮期逆流と拡張期逆流の両方で構成されています。収縮期逆流は、重度の深部静脈弁不全や閉塞によって引き起こされます。このような場合、SFJと伏在静脈が拡張します。ふくらはぎの筋肉ポンプが適切な圧力勾配を作り出すことが出来ず、閉塞部の流れは改善しませんでした。結果として表在静脈へ逆流しています。

スライド 22 Abnormal Venous Waveforms (Superficial)

オープン・バイパス・シャントの例です。血液は膝窩静脈からSPJを介して小伏在静脈へ持続的に逆流しています。この流れは遠位のオーグメンテーションで止めることができますが、すぐに元に戻ってしまいます。図が示すように、フローは大腿-膝窩セグメントの障害物をバイパスする形で大伏在静脈によって流出されています。

スライド 23 Abnormal Venous Waveforms (Superficial)

もう一つオープン・バイパス・シャントの例を紹介します。収縮期逆流はSFJで観察できません。閉塞した大腿静脈により、逃げ場がなくなったためにSFJを介して逆流が強制的に起こり、大伏在静脈のアーチを通過します。次に大伏在静脈から、障害物をバイパスするか、骨盤ネットワークを介して反対側に流れ込む形で浅腹壁静脈へ流出します。

スライド 24 Abnormal Venous Waveforms (Superficial)

逆説的な逆流についてです。これは、深部システムでのボリュームの過負荷により順行方向に移動する病的な流れを指します。オープン・バイパス・シャントの一種でもあり、混合シャントで見られることもあります。通常では流出ポイントは、表在コンパートメントを満たす逆流経路の下にあります。閉塞など障害物による抵抗性の増加は、拡張した表在静脈の圧力よりも高くなり、流れを避けて障害物をバイパスします。オープン・バイパス・シャントでは、通常SFJが再流入ポイントとして機能します。この場合、大伏在静脈と小伏在静脈の連絡静脈であるジャコミニ静脈は、大伏在静脈に向かって収縮期逆流を運びます。ジャコミニ静脈の分岐部より上の大伏在静脈は正常であり、ジャコミニ静脈の分岐部より下の 大伏在静脈は不全となり、ジャコミニ静脈の逆説的な逆流によって供給される状態になります。

スライド 25 Normal Venous Waveforms (Perforator)

上の画像は、正常な穿通枝で通常見られるフローを示しています。筋肉の収縮期には、血液は表在から深部へ移動し、筋肉の弛緩時には外向きの流れはありません。しかし、穿通枝は常にこのように機能するとは限りません。

スライド 26 Abnormal Venous Waveforms (Perforator)

拡張期血流は、穿通枝不全の診断に不可欠です。筋肉の拡張期に延長された外向きの流れが観察された場合、穿通枝不全であり、逆流の原因であると特定できます。通常、遠位に行くほど、穿通枝が逆流の原因になる可能性は低くなります。このスライドの両方の画像は逆流の原因として穿通枝を表していますが、1 つは大腿部にあり、もう 1 つは腓腹部にあります。

スライド 27 Abnormal Venous Waveforms (Perforator)

私は収縮期血流が重要ではない、と言っているわけではありません。

左の画像 - このふくらはぎの穿通枝は、逆流の原因として識別されます。しかし、それに加えて、筋肉収縮期の外向きの流れは、深部静脈の過負荷の流れが拡張した穿通枝を介した筋肉の収縮によって表在静脈へ押し出されるため、深部静脈に閉塞または逆流がある可能性があることを示唆しています。

右の画像 - 深部と表在の両方に重度の逆流がある場合、右の画像に見られるように、ふくらはぎの穿通枝に振動流が見られる場合があります。ふくらはぎの筋肉が収縮するたびに血液が穿通枝から押し出されるため、穿通枝はどんどん拡張します。遠位の静脈の容量がいっぱいになり、より遠位へ排出することができなくなるので、近位の静水圧によって満たされます。したがって、この圧力変化によりこのセグメントの血液は、2つのシステム間で圧を維持するために、行ったり来たりすることになります。

スライド 28 Abnormal Venous Waveforms (Perforator)

穿通枝が筋拡張期に内向きの流れを示す場合、それらはリエントリー穿通枝として分類されます。リエントリー穿通枝というのは、ふくらはぎ下部に見られることが多く、表在の逆流をドレナージしているので、中断するのではなく追いかける必要があります。

左の画像 - 収縮期の流れは内向きです。

右の画像 - 収縮期の流れは外向きです。これは、穿通枝より上の深部静脈逆流の可能性であることを意味します。

スライド 29 Conclusion

ドップラー・イメージングは、解剖学的構造に基づいた静脈血行動態の分析に使用されます。速度の画像は、生理学的および病的な流れを区別するのに役立ちます。逆流というのは、体液量過剰と弁機能不全による病的な現象と言えます。穿通枝の直径を記録する必要がありますが、拡張期逆流症のみがその程度を表します。リエントリー穿通枝は評価されるべきです。ありがとうございました。

スライド 30 Reference

1. Caggiati, A, Bergan, JJ, Gloviczki, P, et al. Nomenclature of the veins of the lower limbs: an international interdisciplinary consensus statement. *J Vasc Surg* 2002; 36: 416–422.
2. Labropoulos N, Tiongson J, Pryor L, Tassiopoulos AK, Kang SS, Ashraf Mansour M, Baker WH. Definition of venous reflux in lower-extremity veins. *J Vasc Surg.* 2003 Oct;38(4):793-8. doi: 10.1016/s0741-5214(03)00424-5. PMID: 14560232.
3. Mendoza E and Lattimer C. Chapter 9, Perforating Veins. In: Mendoza E, Lattimer C and Morrison N (Eds). *Duplex ultrasound of superficial leg veins*. Heidelberg, Germany: Springer; 2014.
4. Mendoza E and Menegatti E. Chapter 4, Duplex ultrasound of superficial leg veins in the context of saphenous vein sparing surgery. In: Zamboni P, Mendoza E and Giancesini S (Eds). *Saphenous vein-sparing strategies in chronic venous disease*. Switzerland: Springer, 2018. pp.75–114.

発表内容を直訳しており、完璧な翻訳ではありません。読み難いですが、ご了承ください。皆様の理解に役立てば、嬉しく思います。

※ 和訳：今井 崇裕（西の京病院血管外科）