EVALUATION PAR ECHO-DOPPLER DUPLEX DES STENOSES ARTERIELLES DES MEMBRES INFERIEURS EN PRESENCE DE LESIONS ETAGEES

Louis Allard, Guy Cloutier et Louis-Gilles Durand Du Laboratoire de génie biomédical, Institut de recherches clinique de Montréal, Montréal, Québec

RESUME

Plusieurs études ont confirmé l'écho-Doppler duplex comme technique aussi efficace que l'angiographie dans la détection et la localisation des sténoses artérielles. Malgré ces résultats prometteurs, il persiste toutefois quelques difficultés, quelques pièges, et quelques controverses. Le but de cette revue est de résumer les différents éléments de la controverse quant aux performances de l'écho-Doppler duplex dans l'évaluation des sténoses artérielles des membres inférieurs en présence de lésions occlusives étagées. En effet, quelques études ont rapporté que la présence de lésions multiples ne modifiait pas la précision des conclusions de l'écho-Doppler. Toutefois des études plus récentes ont montré une sensibilité plus basse dans la détection des sténoses significatives en aval de lésions sévères ou d'occlusions. Il a également été démontré que les sténoses de second ordre étaient détectées avec une sensibilité plus faible que les sténoses de premier ordre. Une des raisons pour expliquer ces résultats est la difficulté à détecter la présence d'un flux très diminué en aval d'un segment occlus ou très sténosé. La limitation intrinsèque du rapport des vitesses systolique maximales utilisé comme critères de classification des lésions peut également modifier les performances de l'écho-Doppler duplex. En conséquence de quoi, ces diverses observations nous amènent à évaluer de nouvelles techniques d'exploration. L'imagerie Doppler en mode puissance, nouveau mode d'analyse qui fournit une représentation directe en 2 ou 3 dimensions de la géométrie du flux sanguin, pourrait être une alternative prometteuse. Les résultats préliminaires obtenus sur des modèles in vitro indiquent une forte ressemblance entre les représentations des axes artériels fournis par l'image Doppler en mode puissance et les aspects angiographiques

INTRODUCTION

L'évaluation précise et la localisation des sténoses responsables des symptômes cliniques dans l'artérite des membres inférieurs représentent une difficulté majeure alors même qu'elle a une incidence directe sur la prise en charge des patients. Ce problème est particulièrement net chez les patients qui présentent des lésions multiples où il est extrêmement important de savoir si la maladie est localisée à la région aorto-iliaque ou au contraire au segment fémoropoplité ou bien au deux, avant de décider d'une intervention de reconstruction artérielle ou d'une angioplastie transluminale. A l'heure actuelle, l'angiographie de contraste, dont la qualité des images peut être améliorée par les techniques de soustraction digitalisée reste la méthode de référence dans la plupart des centres, pour l'exploration des patients se présentant avec une artérite des membres inférieurs.

De plus, cette technique est considérée comme indispensable avant une chirurgie de pontage artériel ou une angioplastie. Pourtant les risques de la technique (hématome au point de ponction, thrombose ou embolie artérielle, réactions adverses au produit de contraste, ou insuffisance rénale), son coût, et le désagrément pour le patient associés à cette technique effractive en limitent les applications en particulier en tant qu'examen de dépistage et de surveillance, aussi bien que pour la surveillance régulière. De plus en présence de lésions multiples étagées, le produit de contraste peut être dilué par le flux sanguin et la diffusion dans les tissus, rendant difficile l'opacification des axes distaux encore perméables (26). Ces limites ont fortement encouragé le développement de techniques non invasives et plus précises pour explorer et suivre les patients présentant une artérite des membres inférieurs.

L'écho-Doppler duplex est actuellement la technique la plus largement utilisée pour localiser et quantifier

References	Duplex scanning	Number of segments studied in each limb	Total number of segments	Criteria	Number of classes	% of correct classification
Jager et al., 1985 (15)	Conventional	7 (iliac to popliteal arteries)	338	WC, SB, and PSV	5	76
Kohler et al., 1987 (18)	Conventional	6 (aorta to popliteal artery)	393	WC, SB, and PSV	5	69
Langfeld et al., 1988 (20)	Conventional	5 (aorta to common femoral artery)	166	WC, SB, and PSV	5	55
Allard et al., 1994 (2)	Allard et al., 1994 (2) Conventional 7 (aorta to poplite		642	WC, SB, and PSV	5	68

Tableau 1 Doppler ultrasound versus angiography in classifying lower limb arterial stenoses in a multiclass decision scheme

 $WC = waveform\ contour,\ SB = spectral\ broadening,\ PSV = peak\ systolic\ velocity$

de façon non invasive la sévérité des sténoses artérielles. Elle est utilisée de façon routinière dans de nombreux territoires vasculaires, en particulier pour l'évaluation des lésions artérielles carotidiennes. Des résultats encourageant ont également été obtenus au niveau des artères des membres inférieurs pendant ces dernières années grâce à l'utilisation de l'imagerie Doppler à codage couleur des vélocités sanguines. Les études venant de nombreux centres confirment que l'écho-Doppler duplex peut être aussi précis que l'artériographie pour localiser et quantifier les sténoses artérielles et de ce fait peut être utilisée dans la sélection des patients pour les angioplasties percutanées transluminales ou la chirurgie de pontage artériel. L'écho-Doppler est également la méthode la plus appropriée pour le suivi post-opératoire des pontages. Bien que ces progrès récents aient nettement diminué les indications de l'artériographie, il reste quelques difficultés, quelques pièges et quelques controverses : la période d'apprentissage relativement longue, la difficulté à examiner les patients obèses, la difficulté en présence d'interposition de gaz intestinaux, et la difficulté à explorer par les méthodes ultrasonores la région du canal de Hunter, l'identification des différents axes vasculaires et de leurs branches collatérales, et l'évaluation précise des lésions artérielles en présence de lésions étagées en sont quelques exemples. Le but de ce travail est de résumer les controverses quant aux performances de l'écho-Doppler duplex dans l'évaluation des lésions artérielles des membres inférieurs en présence de lésions sténosantes étagées.

EXPLORATION ECHO-DOPPLER DUPLEX CONVENTIONNELLE

L'imagerie en mode bi-dimensionnel permet l'évaluation de la morphologie des axes vasculaires et des anomalies tissulaires. Dans l'artérite, les plaques fibreuses et les thrombi obstruant les vaisseaux ont les propriétés acoustiques similaires à celles du sang et sont donc difficiles à détecter à partir de la seule imagerie bi-dimensionnelle (16). Depuis l'avènement des systèmes duplex, qui combinent l'imagerie bidimensionnelle en temps réel avec une analyse doppler pulsé (37), il est devenu possible de mesurer les vitesses circulatoires à des sites spécifiques dans chaque vaisseau. Des critères basés sur la forme de l'enveloppe des courbes de vitesse doppler, le degré d'élargissement spectral, et l'augmentation des vitesses au niveau des sténoses ont été proposées par Jager et coll (15) pour l'évaluation des lésions artérielles dans un schéma décisionnel à plusieurs classes (0 %, 1 à $19~\%,\,20~\grave{\rm a}$ 49 %, $50~\grave{\rm a}$ 99 %, et 100~% de sténoses en réduction du diamètre). A partir de ces critères, les résultats de 4 études cliniques pour l'évaluation de divers segments artériels montrent un pourcentage de classification correct allant de 55 à 76 % (Tableau 1) comparée à l'angiographie (2, 15, 18, et 20). Les résultats de 14 études cliniques étudiant la distinction des sténoses artérielles de moins de 50 % en réduction du diamètre des sténoses de plus de 50 % montrent une sensibilité variant de 67 à 92 %, et une spécificité allant de 91 à 99 % (tableau 2).

Un système informatisé d'analyses des signaux Doppler et de reconnaissances des formes spectrales a été développé par notre groupe de travail. Il n'a apporté qu'une amélioration très limitée des performances de classification des lésions (3). Dans l'espoir de faire mieux que la précision obtenue avec la traditionnelle transformation rapide de Fourier, plusieurs techniques modernes d'analyse spectrale ont également été évaluées pour améliorer la représentation spectrale des signaux Doppler. Ces techniques ont été validées sur des signaux Doppler simulés (12) et appliquées aux données cliniques (11). Hélas, les performances quant à la classification des lésions n'étaient pas significativement améliorées par ces techniques modernes, confirmant l'importance de déterminer des critères Doppler plus efficaces.

References	Duplex scanning	Number of segments studied for each limb	Total number of segments	Criteria	Sensitivity (%)	Specificity (%)
Jager et al., 1985 (15)	Conventional	7 (iliac to popliteal arteries)	338	WC, SB and PSV	77	98
Kohler et al., 1987 (18)	Conventional	6 (aorta to popliteal artery)	393	WC, SB and PSV	82	92
Langfeld et al., 1988 (20)	Conventional	5 (aorta to common femoral artery)	166	WC, SB and PSV	82	93
Legemate et al., 1991 (21)	Conventional	9 (aorta to popliteal artery)	918	PSV ratio	84	96
Sacks et al., 1992 (35)	Conventional	8 (aorta to popliteal artery)	558	PSV ratio	71 1	97 1
Ranke et al., 1992 (30)	Conventional	variable (iliac to superficial femoral arteries)	106 stenoses	PSV and PSV ratio	87	94
Allard et al., 1994 (2)	Conventional	7 (aorta to popliteal artery)	642	WC, SB and PSV	74	96
Cossman et al., 1989 (9)	Color	8 (iliac to the tibioperonal trunk)	629	PSV and PSV ratio	87	99
Polak et al., 1990 (29)	Color	7 (common femoral to popliteal arteries)	238	PSV ratio	88	95
Mulligan et al., 1991 (24)	Color	8 (aorta to popliteal artery)	123	PSV ratio	89	91
Whelan et al., 1992 (40)	Color	7 (iliac artery to trifurcation)	696	WC and PSV	92	97
Moneta et al., 1992 (23)	Color	6 (iliac to the popliteal arteries)	2037	WC and PSV ratio	67 to 89 ²	97 to 99 ²
Leng et al., 1993 (22)	Color	variable (femoropopliteal artery)	30 stenoses	PSV ratio	70	96
Bergamini et al., 1995 (4)	Color	6 (common femoral to tibioperonal trunk)	404	PSV ratio	80	95

Tableau 2

Sensitivity and specificity of Doppler ultrasound as compared to angiography for the detection of arterial stenoses < 50 % and ≥ 50 % diameter reduction

WC = waveform contour, SB = spectral broadening, PSV = peak systolic velocity 1 excluding occlusions, 2 depending ont the arterial segments investigated

IMAGERIE DOPPLER A CODAGE COULEUR DES VELOCITES SANGUINES

Bien que l'écho-Doppler duplex ait été la méthode non invasive de référence pour l'exploration des membres inférieurs, un certain nombre de limitation en ont diminué la reconnaissance. Parmi celles-ci, les plus importantes sont liées au fait que : 1° les informations sur le flux sanguin ne sont obtenues que au site du volume d'échantillonnage et pas dans le reste de l'axe vasculaire, 2° l'examen demande beaucoup de temps pour être complet, et 3° l'interprétation du signal Doppler est relativement complexe (5). Avec l'introduction de l'imagerie Doppler à codage couleur des vélocités sanguines, on a pu contourner un certain nombre de ces limitations de sorte qu'il est devenu possible de localiser et d'identifier plus rapidement les axes vasculaires, aussi bien que pour détecter les anomalies circulatoires reliées aux lésions artérielles. Ce type d'appareillage ultrasonique est donc actuellement très largement utilisé pour localiser et quantifier de façon non invasive la sévérité des lésions dans les artérites des membres inférieurs (tableau 2), bien qu'il soit unanimement reconnu que l'imagerie Doppler à codage couleur isolément ne peut pas

remplacer l'analyse spectrale des signaux Doppler dans l'évaluation du degré de sténose artérielle (14, 28, 34). L'imagerie Doppler à codage couleur des vélocités sanguines est extrêmement utile pour l'analyse qualitative des caractéristiques du flux sanguin et dans l'identification des axes vasculaires, facilitant le positionnement du volume d'échantillonage du système Doppler. De plus la localisation du site de la vélocité sanguine maximale dans un axe vasculaire sténosé est identifié plus facilement entraînant une précision beaucoup plus grande dans la mesure du rapport des vitesses circulatoires. Comme il est montré dans le tableau 2, la sensibilité dans la détection des sténoses significatives versus sténoses non significatives est généralement très améliorée par l'utilisation de l'écho-Doppler duplex couplé à l'imagerie Doppler à codage couleur des vélocités sanguines.

RAPPORT DE VITESSES

Il a été bien démontré que la forme de l'onde Doppler, et de l'élargissement spectral étaient des prédicteurs relativement médiocres du degré de sténose (21). La raison en est que le premier de ces critères est dépendant de la fonction cardiaque, des résistances artérielles périphériques, et de l'état des axes sus-jacents et du lit d'aval (19, 21); tandis que le 2ème critère est dépendant de la dimension du volume d'échantillonnage, de sa localisation au niveau de la lumière artérielle, et de nombreux autres facteurs liés à l'appareillage (8, 33). Pour toutes ces raisons, les classifications les plus récentes ont mis en exergue comme critère le plus fiable les modifications relatives des vitesses systoliques maximales. Le rapport des vitesses systoliques maximales (vitesse systolique maximale au niveau de la sténose divisée par la vitesse systolique maximale pré ou post-sténotique) a été plus particulièrement évalué. Initialement suggéré pour l'évaluation du degré des sténoses carotidiennes (6, 17, 31, 36) il a ensuite été démontré que son utilisation dans l'évaluation des sténoses artérielles des membres inférieurs diminuait grandement la variabilité dans les mesures de la vitesse systolique maximale de différents segments artériels et pour différents patients. Quelques considérations théoriques détaillées ci-dessous sont toutefois importantes avant d'utiliser cet index.

Par définition, le flux circulant dans un axe vasculaire est le résultat du produit de la vitesse moyenne circulatoire par la surface de la section du vaisseau. Si le flux reste constant au niveau de la sténose, l'équation théorique décrite ci-dessous entre le rapport des vitesses moyennes et le rapport des sections artérielles peut être appliquée :

V2 moyen / V1 moyen = A1 / A2 (1) ou V1 moyen et A1 représentent respectivement la vitesse moyenne à l'intérieur de l'artère et la section du vaisseau au niveau d'un site proximal ou distal à la sténose (site de référence) et V2 moyen et A2 les mêmes mesures au niveau du site sténosé. Pour simplifier, les vitesses circulatoires moyennes dans l'espace et dans le temps sont généralement remplacées par la vitesse systolique maximale, représentée par la vitesse Doppler maximale mesurée au niveau du site de la sténose et au moment de la systole.

Il est clair que cette substitution peut entraîner quelques biais dans les mesures, en particulier si le profil vélocimétrique n'est pas le même au niveau des deux sites de mesures. Un autre point important est que le site de référence doit idéalement être situé sur le même segment artériel pour réduire l'effet potentiel de l'existence de branches collatérales et de l'effilement progressif de l'arbre artériel. Les conditions suivantes, qui ne sont pas toujours très nettement mises en évidence dans la littérature, doivent être respectées quant aux deux sites de mesure pour une évaluation précise et reproductible du degré d'une sténose par l'utilisation du rapport des vitesses systoliques maximales :

1) Le débit sanguin doit être le même au niveau des deux sites de mesure (pas de branche collatérale).

- 2) Le diamètre vasculaire au niveau du site de référence doit être le même que le diamètre d'un segment non rétréci de la région que l'on veut évaluer (pas de diminution anatomique du calibre artériel).
- 3) Le site de référence doit être éloigné de toutes sténoses artérielles. (A)
- 4) L'angle du tir doppler doit être le même pour les deux mesures de vitesse.
- 5) Le profil vélocimétrique à l'intérieur de l'artère au moment de la systole.

En pratique, toutes ces conditions sont rarement respectées, en particulier quand la sténose est localisée à l'origine d'un segment artériel ou lorsqu'il existe des lésions étagées. Néanmoins, de nombreuses études ont exploré la reproductibilité in vitro (1, 19, 41) et in vivo (9, 21-24, 29, 30) du rapport des vitesses systoliques maximales pour l'évaluation des sténoses artérielles des membres inférieurs. Les résultats des modèles in vitro montrent que la variabilité dans la mesure du rapport des vitesses systoliques maximales est généralement très basse et très bien corrélée avec le degré de sténose (R² > 0.96). Le modèle théorique exprimé par l'équation 1 n'est toutefois par directement applicable dans ces études, probablement parce que l'une ou plusieurs des conditions sus-décrites ne sont pas remplies. En conséquence, une courbe d'étalonnage empirique est généralement reconstruite pour établir ces coefficients de corrélation. Dans les situations cliniques, les résultats démontrent que la méthode est capable de distinguer les sténoses sévères des sténoses mineures avec une sensibilité allant de 67 à 89 %, et une spécificité allant de 91 à 99 % (tableau 2). A l'aide de cet index, la détermination du degré d'obstruction dans un schéma décisionnel multifactoriel semble moins bien corrélée (22).

LESIONS MULTIFOCALES

Les lésions multifocales sont généralement définies par la présence d'une sténose sévère dans les deux grands territoires à la fois : aorto-iliaque (lésion proximale) et fémoro-poplité (lésion distale). Si l'on consi-

(A) Il est bien connu que les vitesses élevées présentes au niveau de la sténose se poursuivent en aval sous forme d'un aspect en jet qui peut s'étendre sur une distance de plusieurs diamètres en aval du site de sténose maximale (ref 1, 8, 10). A partir des analyses de modèles in vitro, nous avons observé que l'effet de jet sur les vitesses mesurées produit par une sténose proximale significative influencent la mesure du rapport des pics de vitesse systolique si la distance entre la sténose et le site de référence est de moins de 10 diamètre (ref 1). Toutefois dans les conditions de l'analyse clinique, il est le plus souvent totalement impossible d'évaluer cette distance. La raison en est que en plus du degré de sténose, de nombreux autres facteurs hémodynamiques ou anatomiques peuvent affecter la propagation du jet de vitesse en aval d'une sténose.

Lower limb status	Arterial	Duplex classification (n)						
(angiography)	Tract	Correctly classified		Misclassified		Accuracy / Sensitivity / Specificity		
		0-49%	50-100%	0-49%	50-100%	(%)		
No severe disease	Aortoiliac	28	0	0	1	97/-/97		
	Femoropopliteal	27	0	0	2	93 / - / 93		
Inflow disease	Aortoiliac	0	16	1	0	94 / 94 / -		
	Femoropopliteal	16	0	0	1	94 / - / 94		
Outflow disease	Aortoiliac	39	0	0	2	95 / - / 95		
	Femoropopliteal	0	36	5	. 0	88 / 88/ -		
Inflow / outflow disease	Aortoiliac	0	8	4	0	67 / 67 / -		
	Femoropopliteal	0	10	2	0	83 / 83 / -		
All disease	Aortoiliac	67	24	5	3	92 / 83 / 96		
	Femoropopliteal	43	46	7	3	90 / 87 / 93		

Tableau 4

Duplex scanning vs. angiography in detecting 0-49 % and 50-100 % diameter reducing stenoses in the aortoiliac and femoropopliteal tracts as a function of the lower limb status (no disease, outflow disease and inflow/outflow disease)

dère chaque segment artériel individuellement, des lésions multifocales évoquent la présence de sténoses sévères dans des segments adjacents (comme par exemple à la fois sur l'aorte et sur les axes iliaques) (2). Ces lésions multifocales ont également été définies en terme de présence de sténoses de premier ou de second ordre. Sack et coll (35) définissent une sténose de premier ordre comme le premier ou le seul segment sténosé sur un membre, et une sténose de second ordre comme les segments significativement sténosés sous-jacents sur le même membre. Ces termes ne font pas références à des sténoses étagées sur le même segment, puisque les conséquences cliniques sont attribuées à la lésion la plus sévère. Très peu d'étude in vivo ont décrit des observations détaillées et des résultats sur les capacités de l'analyse spectrale des signaux Doppler à évaluer le degré des sténoses artérielles en présence de lésions étagées. Dans une étude utilisant l'exploration écho-Doppler duplex conventionnelle, Jager et coll (15) mentionnent que "chez les patients présentant des lésions étagées, les modifications du spectre doivent être évaluées en fonction du spectre obtenu au site d'enregistrement immédiatement sus-jacent.

Les critères préalablement mentionnés pour les pics de vitesse systolique et l'analyse de la redistribution spectrale, toutefois, peuvent être utilisées". Cette étude mentionne également que la présence de lésions étagées n'influence pas les performances de la technique, sans qu'aucun résultat spécifique ne soit rapporté pour confirmer cette conclusion. Une conclusion similaire avait été rapporté par Kohler et coll

(18), bien qu'il rapporte une sensibilité plus faible dans la détection des sténoses hémodynamiques dans les segments où le flux était diminué en aval des occlusions complètes.

Pour essayer d'éclaircir ce problème, Allard et coll (2) ont réalisé une étude rétrospective à partir de 642 segments artériels des membres inférieurs. Il était observé que les critères diagnostiques basés sur la forme de la courbe Doppler, les indices de redistribution spectral, et la vitesse systolique maximale était très sérieusement perturbés par la présence de lésions étagées. Le tableau 4 présente la classification dans les territoires aorto-iliaque et fémoro-poplité en fonction de l'état du membre (absence de lésion, lésion proximale, lésion distale, ou lésions étagées proximale et distale). Les résultats montrent que indépendamment de l'état du membre malade, l'exploration écho-Doppler montre une sensibilité de 83 %, une spécificité de 96 % pour la détection des sténoses sévères au niveau aorto-iliaque, et une sensibilité de 87 % et une spécificité de 93 % au niveau fémoropoplité. La capacité à classifier les lésions entre 0 et 49 % versus 50 à 100 % au niveau aorto-iliaque est toujours de plus de 90 % sauf en présence de lésions étagées proximale et distale. Dans ce cas, la précision de la méthode n'était plus que de 67 %. A l'étage fémoro-poplité, la précision était de plus de 93 % en l'absence de lésion sur le lit d'aval, et était réduite à 83 % en présence de lésion en amont ou sur le lit d'aval.

Pour chaque segment artériel, les performances de l'écho-Doppler duplex pour la discrimination entre

sténose sévère et sténose non hémodynamique est présentée dans le tableau 5, ainsi que l'influence d'une atteinte associée au niveau proximal ou au niveau du lit d'aval. Les résultats montrent que bien que la précision et la spécificité pour tous les segments artériels soient presque toujours supérieure à 88 %, la sensibilité s'échelonne entre 36 et 100 %. La meilleure sensibilité est obtenue au niveau aortique alors que la plus mauvaise est associée avec la région de la fémorale commune, de la fémorale profonde et des artères poplitées. Dans ce dernier segment, 10 des 12 erreurs d'évaluation sont dues à la présence d'une atteinte proximale. Il est donc conclut que les critères basés sur la forme de l'enveloppe spectrale Doppler, sur la redistribution spectrale, et sur le vitesse systolique maximale, ne sont pas suffisamment reproductible pour fournir une évaluation objective et précise des sténoses artérielles périphériques sur les membres présentant des lésions étagées.

Comme il a été décrit précédemment, le rapport des vitesses systoliques maximales semble un critère simple et précis de la sévérité des sténoses. Toutefois, très peu de données sont disponibles sur ces capacités de discrimination en présence de lésions étagées. Une étude réalisée par Ranke et coll (30) montre que la présence de lésions mutlifocales n'affecte pas de façon notable ces résultats globaux. En effet en évaluant la corrélation du rapport des vitesses systoliques maximales avec la réduction du diamètre angiographique, il prouve que la corrélation en cas de lésions étagées (R = 0.92) ou en cas de sténose à l'origine d'un segment artériel (R = 0.89) n'est pas significativement différentes des résultats de l'analyse globale (R = 0.93). A l'inverse comme il est détaillé cidessous, d'autres études évaluant ce point de controverse propose des conclusions ou tout au moins des informations suggérant que la présence de lésions étagées affecte la précision des explorations écho-Doppler duplex.

Les résultats rapportés par Moneta et coll (23) indiquent que les performances de l'exploration ultrasonique basée sur les rapports de la vitesse systolique maximale ou la forme des courbes d'analyse spectrale décroît au fur et à mesure que l'on étudie des artères plus distales. De fait, leur meilleur résultat est obtenu au niveau des artères iliaques (sensibilité de 89 % dans la détection des sténoses significatives) alors que leur plus mauvaise performance est réalisée au niveau de l'artère poplitée (sensibilité de 67 %). On peut déduire de la distribution des lésions occlusives décrites par les auteurs que la sensibilité médiocre au niveau des artères poplitées résulte de la prévalence élevée (43 %) de sténoses significatives au niveau des artères fémorales superficielles. Pour le sous groupe des membres avec une prévalence basse (4 %) de lésions au niveau de l'artère fémorale

References	Criteria	Sensitivity (%)		
		First order	Second order	
Sack et al., 1992 (35)	PSV	87 '	· 56 ¹	
Sack et al., 1992 (35)	PSV ratio	82 ¹	62 1	
Bergamini et al.,1995 (4)	PSV ratio	78 (18/23)	13 (1/8)	

Tableau 3

Sensitivity of duplex criteria as compared to angiography for the detection of first and second order stenoses ($\geq 50\%$ diameter reduction)

superficielle, les résultats révèlent à une sensibilité de 100 % dans la détection des sténoses sévères au niveau poplité. Legemat et coll (21) affirment que le rapport de la vitesse systolique maximale ne devrait pas être affecté par la présence de lésions étagées, alors même qu'ils observent une valeur prédictive positive et une sensibilité plus basse dans la détection des sténoses significatives au niveau des artères fémorales communes, fémorales profondes et des artères poplitées. Sur 9 occlusions artérielles poplitées, 5 cas de faux positif à l'exploration Doppler sont rapportés à la présence d'une occlusion de l'artère fémorale superficielle sous jacente. Les résultats de Polak et coll (29) montrent que parmi 5 faux négatifs de l'exploration Doppler dans la détection des sténoses significatives, 4 surviennent sur des segments situés en aval d'une sténose très serrée ou d'une occlusion. En utilisant la méthode des rapports de la vitesse systolique maximale, Sacks et coll (35) rapportent une sensibilité médiocre (62 % versus 82 %) dans la détection des sténoses de second ordre comparées avec les sténoses de premier ordre (tableau 3). Une dégradation encore plus sévère de la sensibilité (87 versus 56 %) survient si l'on utilise le critère de la vitesse systolique maximale isolé à la place du rapport des vitesses systoliques maximales comme critère diagnostique. Finalement, en utilisant le critère du rapport de la vitesse systolique maximale, Bergamini et coll (4) détectent 78 % des sténoses de premier ordre comparés à seulement 13 % des sténoses de second ordre. En conséquence, ils observent une diminution marquée de la sensibilité au niveau des axes poplités et du tronc tibio-péronier.

A la suite de ces controverses sur les résultats in vivo, Allard et coll ont récemment démontré, à l'aide d'un modèle in vitro, que la présence d'une sténose en amont ou en aval de la lésion en cours d'évaluation a un retentissement important sur le rapport des vitesses systoliques maximales (1). Les résultats confirment qu'il peut être difficile de quantifier de façon précise une sténose en l'absence de tout site de référence pour mesurer les vitesses pré et post-sténotiques. Ces conclusions tirées d'un modèle simplifié peuvent faci-

¹ excluding occlusions

Arterial	Duplex classification (n)							
	Correctly	classified	Miscla	assified	Accuracy / Sensitivity			
segment	0-49%	50-100%	0-49%	50-100%	(%)			
Distal aorta	52 (24)	1 (1)	0 (0)	1 (1)	98 / 100 / 98			
Common iliac	71 (14)	16 (3)	3 (0)	2 (0)	93 / 84 / 97			
External iliac	85 (24)	6 (1)	4(1)	4 (3)	92 / 60 / 96			
Common femoral	94 (62)	4 (3)	7 (6)	2 (2)	92 / 36 / 98			
Deep femoral	79 (34)	4 (4)	5 (5)	2 (1)	92 / 44 / 97			
Superficial femoral	52 (7)	44 (16)	4 (1)	2 (0)	94 / 92 / 96			
Popliteal	83 (38)	3 (3)	5 (3)	7 (7)	88 / 37 / 92			
All	516(203)	78 (31)	28 (16)	20 (14)	93 / 74 / 96			

Tableau 5

Duplex scanning vs. angiography in detecting 0-49 % and 50-100 % diameter reducing lesions. Numbers in parentheses indicate the numbers of segments with at least one 50-100 % immediately proximal or distal lesion. The total number of arterial segments was 642. Reprinted with permission (2)

lement être transposées à des conditions plus physiopathologiques mettant en cause des sténoses localisées sur différents segments comme on les rencontre sur l'arbre artériel des membres inférieurs. Ainsi, il est évident qu'il faut appliquer avec une attention toute particulière la méthode des rapports des vitesses systoliques maximales lors de son utilisation en clinique sur des patients présentant des lésions étagées. D'autres travaux expérimentaux et cliniques sont nécessaires pour définir une méthode d'exploration ultrasonique dont les performances soient indépendantes de la présence de lésions plurifocales. L'imagerie Doppler en mode puissance pourra peut être être une solution à ce problème clinique.

IMAGERIE DOPPLER EN MODE PUISSANCE ET RECONSTRUCTION TRI-DIMENSIONNELLE

En partie du fait des observations précédentes sur les limites des performances de l'écho-Doppler duplex et de l'imagerie Doppler à codage couleur des vélocités sanguines en présence de lésions étagées, une nouvelle technique prometteuse a été développée ces dernières années. Cette nouvelle modalité d'exploration a été intitulée l'imagerie Doppler en mode puissance et est actuellement en cours d'évaluation expérimentale et clinique (13, 27, 32, 33, 39). Au lieu de fournir un enregistrement des fréquences Doppler moyennes, l'image couleur produite par l'imagerie Doppler en mode puissance est un reflet de l'intégralité de la puissance du signal Doppler, indépendamment de la vitesse du flux et de l'angle du tir doppler. Pour cette raison, l'imagerie Doppler en mode puissance a une meilleure sensibilité pour les très faibles vitesses circulatoires parce qu'elle cartographie la globalité de tous les éléments en mouvement indépendamment de leur vélocité. L'imagerie Doppler en mode puissance a été appliquée à l'évaluation de la sévérité des régurgitations valvulaires (39), à la détection d'un syndrome d'hyperémie dans les tissus mous (25), et pour l'exploration du réseau vasculaire intra-rénal (7). Elle a également été utilisée récemment sur un modèle in vitro pour la quantification des sténoses vasculaires

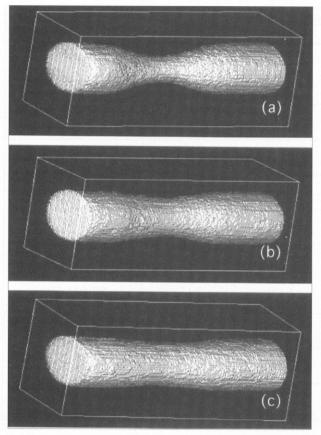


Figure 1
Power Doppler 3D images of three in vitro stenotic vessels having (a) 80 %, (b) 50 % and (c) 30 % area reduction stenosis. The non obstructed inner diameter of the vessel was 8 mm. The images were generated by using a Doppler angle of 70° and by circulating a blood mimicking fluid at a peak flow rate of 12 ml/s under pulsatile flow. Reprinted with permission (13)

(13). On a montré dans cette dernière étude que l'imagerie Doppler en mode puissance pourrait fournir une description précise de la lumière artérielle.

Un autre progrès important présenté par Guo et Fenster (13) est l'utilisation d'une reconstruction tridimensionnelle de la lumière artérielle. Comme il est montré dans la figure 1, une image comparable à une image d'angiographie avec soustraction peut être obtenue. Il y a plusieurs avantages à réaliser des reconstructions tri-dimensionnelles des vaisseaux sténosés, car les sténoses artérielles peuvent être sous évaluées ou même ne pas être décelées du tout si l'imagerie n'est réalisée que dans un seul plan. Les sténoses peuvent également être visualisées dans un plan d'étude et pas dans les autres plans, car les sténoses sont rarement concentriques. En conséquence les sténoses peuvent être plus ou moins sévères qu'elles n'apparaissent sur les examens. En réalisant des représentations tri-dimensionnelles de la lumière artérielle des axes vasculaires, une identification plus

précise et plus reproductible et une quantification plus fine de la maladie artérielle peut être obtenue. Bien que l'imagerie Doppler en mode puissance en mode tri-dimensionnel en soit encore à un stade tout à fait initial de développement, on espère que la détection des sténoses dans les segments à très faible vitesse circulatoire, en particulier en aval des axes occlus ou très sténosés pourra être très améliorée à l'aide de cette technique. L'influence des sténoses sévères proximales ou distales à la lésion étudiée, aura probablement également un effet sur le diagnostic fourni par l'imagerie Doppler en mode puissance mais d'importance minime.

CONCLUSION

La détermination précise des lésions en cause à l'origine d'une ischémie artérielle des membres inférieurs chez les patients présentant des lésions combinées à l'étage aorto-iliaque et au niveau fémoro-poplité est un problème clinique difficile et important. Les méthodes thérapeutiques les plus habituelles pour le traitement de ces patients sont soit une reconstruction proximale, soit une angioplastie pour améliorer l'apport sanguin à l'artère fémorale profonde, éventuellement complétée par une reconstruction distale si elle est indiquée. Ces procédures sont basées sur l'observation que la revascularisation des segments proximaux permet habituellement d'améliorer la perfusion du membre inférieur en augmentant le flux d'une de ces branches artérielles distales (38). La capacité à déterminer correctement si la maladie principale est située au niveau aorto-iliaque ou au niveau fémoro-poplité ou au deux niveaux est donc absolument essentielle. A partir de la présente revue de la littérature, il est clair que les capacités de l'exploration écho-Doppler duplex à évaluer l'atteinte athéromateuse sténosante de l'étage aorto-iliaque et de l'étage fémoro-poplité reste un sujet de controverse. Bien que la méthode des rapports des vitesses systoliques maximales représente le critère le plus objectif à notre disposition et le plus fiable par rapport aux index préalablement utilisés (15), son utilisation en clinique comme outil diagnostique requière une exploration Doppler extrêmement méticuleuse et de garder très nettement à l'esprit toutes ses bases physiopathologiques, en particulier lorsqu'il existe des lésions artérielles diffuses ou multi-segmentaires au niveau des membres inférieurs.

Les systèmes d'imagerie Doppler couramment disponibles sur le marché sont capables de fournir des informations fonctionnelles directes par la mesure des vitesses circulatoires au Doppler, et des informations anatomiques indirectes à partir des rapports de vitesse circulatoire au Doppler (équation 1). Dans l'avenir on espère que les rétrécissements vasculaires puissent être plus précisément représentés grâce à l'imagerie Doppler en mode puissance, cette nouvelle technique ayant une sensibilité accrue même en condition de bas débit, et pouvant définir directement la géométrie des vaisseaux sanguins. Moins dépendante des caractéristiques du flux, cette modalité d'analyse pourrait être moins affectée par la présence de sténoses multiples et fournir ainsi un bénéfice clinique très significatif. Les systèmes ultrasoniques Doppler permettant de réaliser des reconstructions tri-dimensionnelles à la fois fonctionnelle (vélocité Doppler) et à la fois anatomique (Doppler puissance) des

segments artériels des membres inférieurs pourraient ainsi améliorer de façon très importante l'évaluation du système artériel périphérique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient chaleureusement le Dr Ghislaine O. Roederer pour la relecture du manuscrit. Des remerciements sont également adressés au Medical Research Council of Canada, the Heart and Stroke Foundation of Québec, et le Fond de la Recherche en Santé du Québec pour leur participation financière aux projets des auteurs dont les résultats sont présentés dans cette revue.

BIBLIOGRAPHIE

- 1. Allard L, Cloutier G, Durand LG. Doppler velocity ratio measurements evaluated in a phantom model of multiple arterial disease. Ultrasound Med Biol 1995;21(4):471-80.
- 2. Allard L, Cloutier G, Durand LG, Roederer GO, Langlois YE. Limitations of ultrasonic duplex scanning for diagnosing lower limb arterial stenoses in the presence of adjacent segment disease. J Vasc Surg 1994;19(4):650-7.
- 3. Allard L, Langlois YE, Durand LG, Roederer GO, Beaudoin M, Cloutier G, Roy P, Robillard P. Computer analysis and pattern recognition of Doppler blood flow spectra for disease classification in the lower limb arteries. Ultrasound Med Biol 1991;17(3):211-23.
- 4. Bergamini TM, Tatum CM, Marshall C, Hall-Disselkamp B, Richardson JD. Effect of multilevel sequential stenosis on lower extremity arterial duplex scanning. Am J Surg 1995;169:564-6.
- 5. Berritt CRB. Doppler color flow imaging. J Clin Ultrasound 1987;15:591-7.
- 6. Brown PM, Johnston KW, Kassam M, Cobbold RSC. A critical study of ultrasound Doppler spectral analysis for detecting carotid disease. Ultrasound Med Biol 1982;8(5):515-23.
- 7. Bude RO, Rubin JM, Adler RS. Power versus conventional color Doppler sonography: Comparison in the depiction of normal intrarenal vasculature. Radiology 1994;192(3):777-80.
- 8. Clark C. The propagation of turbulence produced by a stenosis. J Biomechanics 1980;13:591-604.
- 9. Cossman DV, Ellison JE, Willis RVT, Wagner H, Carroll RM, Treiman RL, Foran RF, Levin PM, Cohen JL. Comparison of contrast arteriograph to arterial mapping with color-flow duplex imaging in the lower extremities. J Vasc Surg 1989;10:522-9.
- 10. Evans DH, Macpherson DA, Asher MJ, Bentley S, Bell PRF. Changes in Doppler ultrasound sonagrams at varying distances fron stenoses. Cardiovasc Res 1982;16:631-6.
- 11. Guo Z, Durand LG, Allard L, Cloutier G, Lee HC. Classification of lower limb stenoses from Doppler blood flow signal analysis with time-frequency representation and pattern recognition techniques. Ultrasound Med Biol 1994;20(4):335-46.
- 12. Guo Z, Durand LG, Lee HC. Comparison of time-frequency distribution techniques on simulated Doppler ultrasound signal of the femoral artery. IEEE Trans Biomed Eng 1994;41(4):332-41.
- 13. Guo Z, Fenster A. Three-dimensional power Doppler imaging: A phantom study to quantify vessels stenosis. Ultrasound Med Biol 1995; Accepted.
- 14. Hatsukami TS, Primozich JF, Zierler RE, Harley JD, Strandness DE, Jr. Color Doppler imaging of infrainguinal arterial occlusive disease. J Vasc Surg 1992;16:527-33.
- 15. Jager KA, Phillips DJ, Martin RL, Hanson C, Roederer GO, Langlois YE, Ricketts HJ, Strandness DE, Jr. Noninvasive mapping of lower limb arterial lesions. Ultrasound Med Biol 1985;11(3):515-21.
- 16. Jager KA, Ricketts HJ, Strandness DE, Jr. Bernstein EF, editors. Noninvasive diagnostic techniques in vascular disease. 3rd ed. St-Louis: The C.V. Mosby; 1985; 60, Duplex scanning for the evaluation of lower limb arterial disease. p. 619-31.
- 17. Keagy BA, Pharr WF, Thomas D, Bowles DE. Evaluation of the peak frequency ratio (PFR) measurement in the detection of internal carotid artery stenosis. J Clin Ultrasound 1982;10(3):109-12.
- 18. Kohler TR, Nance DR, Cramer MM, Vandenburghe N, Strandness DE, Jr. Duplex scanning for

- diagnosis of aortoiliac and femoropopliteal disease: a prospective study. Circulation 1987;76(5):1074-80.
- 19. Landwehr P, Schindler R, Heinrich U, Dolken W, Krahe T, Lackner K. Quantification of vascular stenosis with color Doppler flow imaging: In vitro investigations. Radiology 1991;178:701-4.
- 20. Langsfeld M, Nepute J, Hershey FB, Thorpe L, Auer AI, Binnington HB, Hurley JJ, Peterson GJ, Schwartz R, Woods JJ, Jr., et al. The use of deep duplex scanning to predict hemodynamically significant aortoiliac stenoses. J Vasc Surg 1988;7:395-9.
- 21. Legemate DA, Teeuwen C, Hoeneveld H, Ackerstaff RGA, Eikelboom BC. Spectral analysis criteria in duplex scanning of aortoiliac and femoropopliteal arterial disease. Ultrasound Med Biol 1991;17(8):769-76.
- 22. Leng GC, Whyman MR, Donnan PT, Ruckley CV, Gillespie I, Fowkes GR, Allan PL. Accuracy and reproducibility of duplex ultrasonography in grading femoropopliteal stenoses. J Vasc Surg 1993;17:510-7.
- 23. Moneta GL, Yeager RA, Antonovic R, Hall LD, Caster JD, Cummings CA, Porter JM. Accuracy of lower extremity arterial duplex mapping. J Vasc Surg 1992;15:275-84.
- 24. Mulligan SA, Matsuda T, Lanzer P, Gross GM, Routh WD, Keller FS, Koslin DB, Berland LL, Fields M, Doyle M, et al. Peripheral arterial occlusive disease: Prospective comparison of MR angiography and color Duplex US with conventional angiography. Radiology 1991;178:695-700.
- 25. Newman JS, Adler RS, Bude RO, Rubin JM. Detection of soft-tissue hyperemia: Value of power Doppler sonography. AJR 1994;163:385-9.
- 26. Owen RS, Carpenter JP, Baum RAF, Perloff LJ, Cope C. Magnetic resonance imaging of angiographically occult runoff vessels in peripheral arterial occlusive disease. N Engl J Med 1992;326(24):1577-81.
- 27. Parro A, Philpot EF, Czuwala PJ, Fan PH, Nanda NC, Cape EG, Yoganathan AP, Helmcke F, Fujii H. Amplitude information from Doppler color flow mapping systems: A preliminary study of the power mode. J Am Coll Cardiol 1991;18:997-1003.
- 28. Polak JF. Peripheral arterial disease. Evaluation with color flow and Duplex sonography. Radiol Clinics North America 1995;33(1):71-90.
- 29. Polak JF, Karmel MI, Mannick JA, O'Leary DH, Donaldson MC, Whittemore AD. Determination of the extent of lower-extremity peripheral arterial disease with color-assisted duplex sonography: Comparison with angiography. AJR 1990;155:1085-9.
- 30. Ranke C, Creutzig A, Alexander K. Duplex scanning of the peripheral arteries: Correlation of the peak velocity ratio with angiographic diameter reduction. Ultrasound Med Biol 1992;18(5):433-40.
- 31. Rittgers SE, Thornhill BM, Barnes RW. Quantitative analysis of carotid artery Doppler spectral waveforms: diagnostic value of parameters. Ultrasound Med Biol 1983;9(3):255-64.
- 32. Rubin JM, Adler RS. Power Doppler expands standard color capability. Diagnostic Imaging 1993;(12):66-9.
- 33. Rubin JM, Bude RO, Carson PL, Bree RL, Adler RS. Power Doppler US: A potentially useful alternative to mean frequency-based color Doppler US. Radiology 1994;190:853-6.
- 34. Sacks D. Peripheral arterial duplex ultrasonography. Seminar in Roentgenology 1992;XXVII(1):28-38.
- 35. Sacks D, Robinson ML, Marinelli DL, Perlmutter GS. Peripheral arterial Doppler ultrasonography: Diagnostic criteria. J Ultrasound Med 1992;11:95-103.
- 36. Spencer MP, Reid JM. Quantitation of carotid stenosis with continuous-wave (C-W) Doppler ultrasound. Stroke 1979;10(3):326-30.
- 37. Strandness DE, Jr. Echo-Doppler (duplex) ultrasonic scanning. J Vasc Surg 1985;2(2):341-4.
- 38. Summer DS, Strandness DE, Jr. Aortoiliac reconstruction in patients with combined iliac and superficial femoral arterial occlusion. Surgery 1978;84(3):348-55.
- 39. Utsunomiya T, Patel D, Doshi R, Quan M, Gardin JM. Can signal intensity of the continuous wave Doppler regurgitant jet estimate severity of mitral regurgitation? Am Heart J 1992;123:166-71.
- 40. Whelan JF, Barry MH, G., Moir JD. Color flow Doppler ultrasonography: Comparison with peripheral arteriography for the investigation of peripheral vascular disease. J Clin Ultrasound 1992;20:369-74.
- 41. Whyman MR, Hoskins PR, Leng GC, Allan PL, Donnan PT, Ruckley CV, Fowkes FGR. Accuracy and reproducibility of duplex ultrasound imaging in a phantom model of femoral artery stenosis. J Vasc Surg 1993;17:524-30.