



PC Journées
& Réunionnaises
Plaies et Cicatrisations

La passion des plaies...

**Apport de l'oxygénothérapie
hyperbare dans la prise en charge des
plaies du mal perforant plantaire**

Dr Thomas MASSEGUIN

Service de Médecine Hyperbare & Plaie et Cicatrisation
CHU de La Réunion

28 & 29 avril 2023 - Stella Matutina



Déclaration de lien d'intérêt

Je ne déclare pas de lien d'intérêt en rapport avec cette présentation.



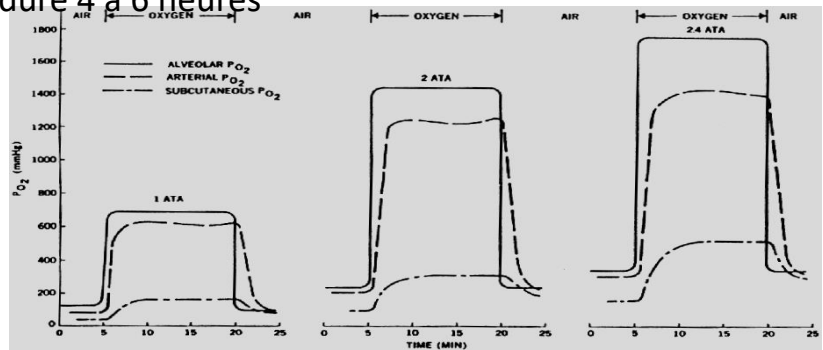
Administration de l'oxygène par voie respiratoire (systémique) à une pression supérieure à la pression atmosphérique

Effets

Élévation de la pression absolue

- Augmentation du transport de l'oxygène:
 - Augmentation de la quantité d'oxygène dissous dans le sang
 - Déformabilité érythrocytaire
 - Effet sur la microcirculation artériolaire
- Oxygénation tissulaire de zones hypoxiques qui perdure 4 à 6 heures

	Air ambiant	Oxygène pur		
Pression en ata	1	1	2	3
$P_A O_2$ (mmHg)	100	673	1 433	2 193
$P_a O_2$ (mmHg)	98	660	1 400	2 150
O_2 oxyhémoglobinique (mL O_2 /100mL)	19.7	20.1	20.1	20.1
O_2 plasmatique (ml O_2 /100 mL)	0,285	1,88	3,8	6,1





L'oxygénothérapie hyperbare (OHB)

Effets sur la cicatrisation:

- Néangiogenèse
- Réplication des fibroblastes
- Synthèse de collagène

Anti-infectieux:

- Bactéricide
- Rétablit les moyens de défense contre les infections (macrophages/polynucléaires)
- Potentialisation de l'action des antibiotiques

cytokine	source	HBO treatment	Comment/Outcome	Author, year
IL-1	Monocytes-macrophages	HBO, 2.4 ATA, 90 min	Inhibits LPS-induced IL-1 β synthesis	(Benson <i>et al.</i> , 2003)
TNF- α , IL-1 β	Monocytes-macrophages	HBO, 2.0 ATA, 90 min	Inhibits stimulus-induced TNF- α and IL-1 β synthesis.	(Inamoto <i>et al.</i> , 1991, Lahat <i>et al.</i> , 1995)
IL-2	Monocytes	HBO, 2.5ATA, 90 min	Decrease in IL-2 production and IL-2 receptor expression.	(Ginaldi <i>et al.</i> , 1991)
TNF- α	Monocytes-macrophages	HBO, 2.4ATA, 90 min	Inhibits TNF- α production.	(Benson <i>et al.</i> , 2003)
TGF β	Chronic ischaemic wounds in rabbit	HBO, 2.4 ATA, 90 min	Increases levels of TGF β and produces a synergistic effect on a chronic wound model in young rabbits, but not in old rabbits.	(Zhao <i>et al.</i> , 1998, Bonomo <i>et al.</i> , 2000)
PDGF- β	Acutely ischaemic wounds in rabbit	HBO, 2.0 ATA, 90 min	Increases expression of PDGF- β receptor.	(Bonomo <i>et al.</i> , 2000)
VEGF	HUVECs	HBO, 2.5 ATA, 2-8 h	Up regulates VEGF production and release.	(Lee <i>et al.</i> , 2006, Eliss <i>et al.</i> , 2005)
IFN- γ	Lymphocytes	HBO, 2 ATA, 90 min	Reduces PMA/PHA-stimulated release of IFN- γ by lymphocytes.	(Granowitz <i>et al.</i> , 2002)
FGF	Muscle cells	HBO, 3 ATA, 1 h/day for 14 day	Up regulates FGF expression.	(Asano <i>et al.</i> , 2007)

SENSIBILITÉ IN VITRO À L'OXYGÈNE DES GERMES ANAÉROBES D'après LOESCHE

Germe	Pression d'oxygène mmHg	0	1	2	3.5	5	8	15	20	30	45	60	75	90
<i>Clostridium haemolyticum</i>		++	++	++	++	++	+	0	0					
<i>Peptostreptococcus</i>		++	++	++	++	++	++	+	0	0				
<i>Clostridium novyi</i>		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
<i>Bacteroides oralis</i>		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
<i>Bacteroides melanogenicus</i>		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
<i>Bacteroides nucleatum</i>		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
<i>Bacteroides fragilis</i>		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

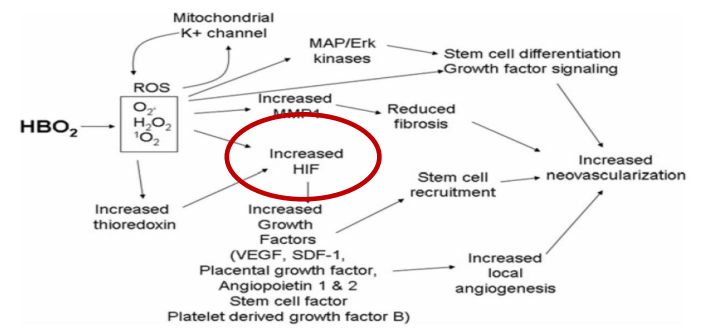
++ : croissance normale ; + : croissance ralentie ; V : croissance variable suivant la souche ou le temps d'incubation ; 0 : pas de croissance.

Hyperbaric Oxygen Influences Chronic Wound Healing – a Cellular Level Review

Jiří RŮŽIČKA^{1,2*}, Jiří DEJMEK^{1,2*}, Lukáš BOLEK^{1,2}, Jiří BENES^{1,1}, Jitka KUNCOVA^{1,2,3}
 *These authors contributed equally to this work.

¹Biomedical Centre, Faculty of Medicine in Plzeň, Charles University, Plzeň, Czech Republic.
²Institute of Biophysics, Faculty of Medicine in Plzeň, Charles University, Plzeň, Czech Republic.
³Institute of Physiology, Faculty of Medicine in Plzeň, Charles University, Plzeň, Czech Republic

Received April 22, 2021
 Accepted October 14, 2021



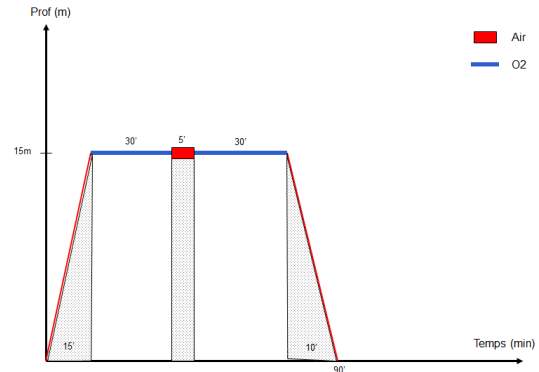


1 à 2 Séances itératives par jour

Durée 90 min:

- 15 min de compression
- 60 min de traitement
- 10 min de décompression

Table 2,5 ATA





Compatibilité





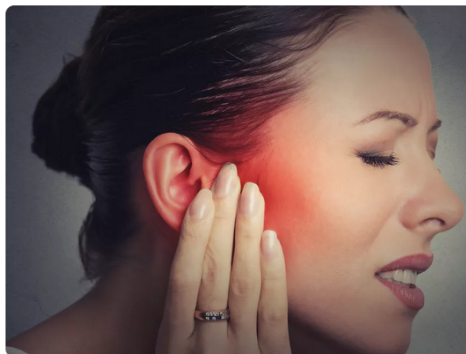
Effets indésirables de l'OHB



- *Otites barotraumatiques*

- *Hypoglycémie*

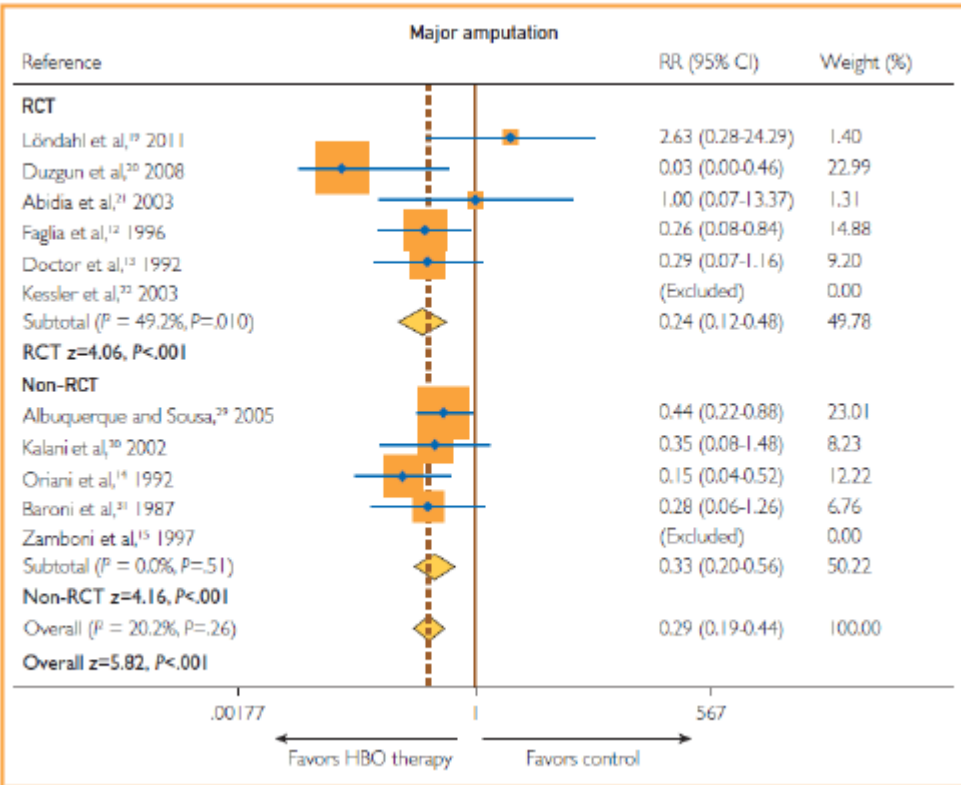
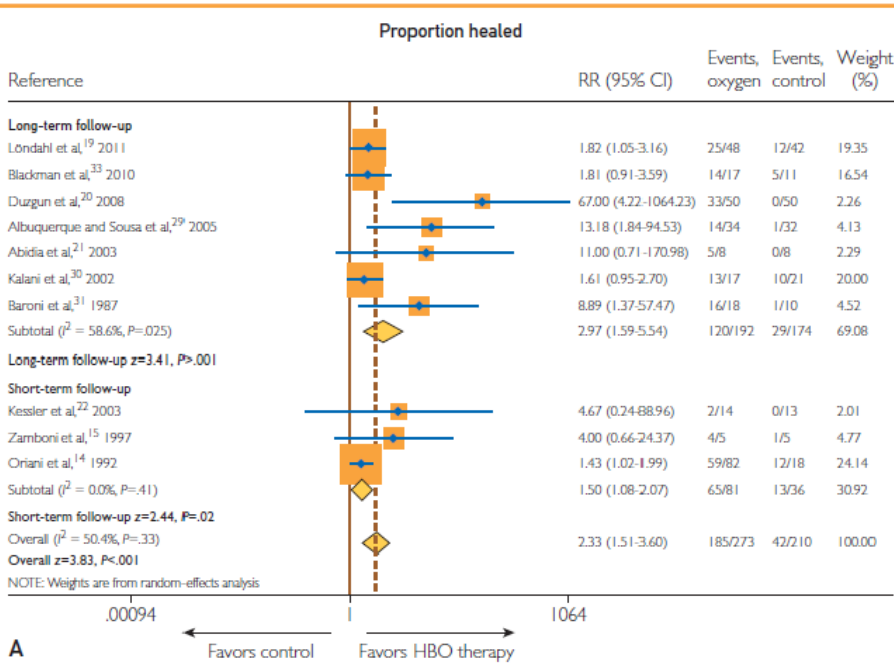
- *crise convulsive hyperoxique (Effet Paul Bert) 1/an*





Systematic review of the effectiveness of hyperbaric oxygenation therapy in the management of chronic diabetic foot ulcers.

Liu R¹, LLL, Yang M, Boden G, Yang G.





Evaluation des actes professionnels de Janvier 2007

Consensus Conference

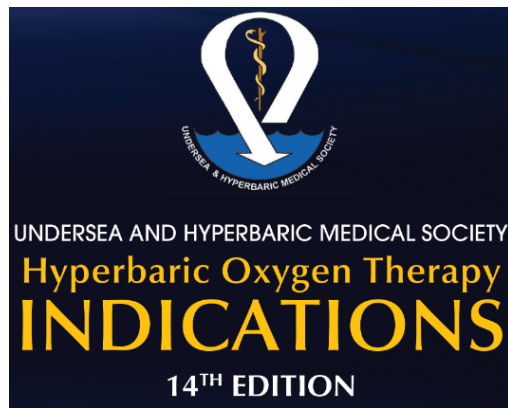
Tenth European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine: recommendations for accepted and non-accepted clinical indications and practice of hyperbaric oxygen treatment

Daniel Mathieu, Alessandro Marroni and Jacek Kot

Diving and Hyperbaric Medicine Volume 47 No. 1 March 2017

Condition	Level of evidence		Agreement level
	B	C	
Type 1			
CO poisoning	X		Strong agreement
Open fractures with crush injury	X		Strong agreement
Prevention of osteoradionecrosis after dental extraction	X		Strong agreement
Osteoradionecrosis (mandible)	X		Strong agreement
Soft tissue radionecrosis (cystitis, proctitis)	X		Strong agreement
Decompression illness		X	Strong agreement
Gas embolism		X	Strong agreement
Anaerobic or mixed bacterial infections		X	Strong agreement
Sudden deafness		X	Strong agreement
Type 2			
Diabetic foot lesions	X		Strong agreement
Compromised skin grafts and musculo-cutaneous flaps		X	Strong agreement
Central retinal artery occlusion (CRAO)		X	Strong agreement
Crush Injury without fracture		X	Agreement
Osteoradionecrosis (bones other than mandible)		X	Agreement
Radio-induced lesions of soft tissues (other than cystitis and proctitis)		X	Agreement
Surgery and implant in irradiated tissue (preventive treatment)		X	Agreement
Ischaemic ulcers		X	Agreement
Refractory chronic osteomyelitis		X	Agreement
Burns, 2nd degree more than 20% BSA		X	Agreement
Pneumatoxis cystoides intestinalis		X	Agreement
Neuroblastoma, stage IV		X	Agreement
Type 3			
Brain injury (acute and chronic TBI, chronic stroke, post anoxic encephalopathy) in highly selected patients		X	Agreement
Radio-induced lesions of larynx		X	Agreement
Radio-induced lesions of the CNS		X	Agreement
Post-vascular procedure reperfusion syndrome		X	Agreement
Limb replantation		X	Agreement
Selected non-healing wounds secondary to systemic processes		X	Agreement
Sickle cell disease		X	Agreement
Interstitial cystitis		X	Agreement

Pathologies	Pression	Durée de la séance	Nombre habituel de séances	Espacement des séances	Mesures de la PtcO2 sous OHB
<i>Intoxication au CO</i>	2,5 ATA	90 min	1 séance (au grand maximum 5)	NR	Non
<i>Accident de décompression: Traitement initial</i>	2,5 à 4 ATA	Jusqu'à 7 h		NR	Non
<i>Accident de décompression: traitement des déficits résiduels</i>	2,5 ATA	90 min	Jusqu'à 10, voire plus si récupération objective.	2 séances par jour	Non
<i>Embole gazeuse</i>	4 à 6 ATA	Jusqu'à 7 h	1 ou plus	Dépend de l'évolution clinique	Non
<i>Infection bactérienne à germes anaérobies ou mixtes, nécrosante des tissus mous</i>	2,5 ATA	90 min	2 à 3 séances dans les 24h, puis 10 séances	Dépend de l'évolution clinique	Non
<i>Abcès intracrânien, pleuro-pulmonaire, hépatique</i>	2,5 ATA	90 min	10 séances	Dépend de l'évolution clinique	Non
<i>Ecrasement de membre (fracture ouverte type III Gustilo B et C)</i>	2,5 ATA	90 min	Supérieur à 10	Dépend de l'évolution clinique	Oui, mise en route de l'OHB si PtcO2>20 mmHg
<i>Lésions radio-induites: ostéoradionécrose de la mandibule et cystite radio-induite</i>	2,5 ATA	90 min	20 à 60 séances	Dépend de l'évolution clinique	Non
<i>Pied diabétique</i>	2,5 ATA	90 min	20 à 40 sur 3 à 4 semaines	1 à 2 séances par jour	Oui, mise en route de l'OHB si PtcO2>100mmHg
<i>Plaie chronique ischémique non diabétique</i>	2,5 ATA	90 min	10 séances par semaine	2 séances par jour	Oui, mise en route de l'OHB si PtcO2>50mmHg
<i>Surdité brusque</i>	2,5 ATA	90 min	10 séances	Dépend de l'évolution	Non



- OHB dans les stade 3 ou + pour prévenir les amputations majeures
- OHB en post opératoire immédiat après chirurgie



6^{ème} Édition



International Working Group on the Diabetic Foot
Groupe international de Travail sur le Pied Diabétique

List of recommendations

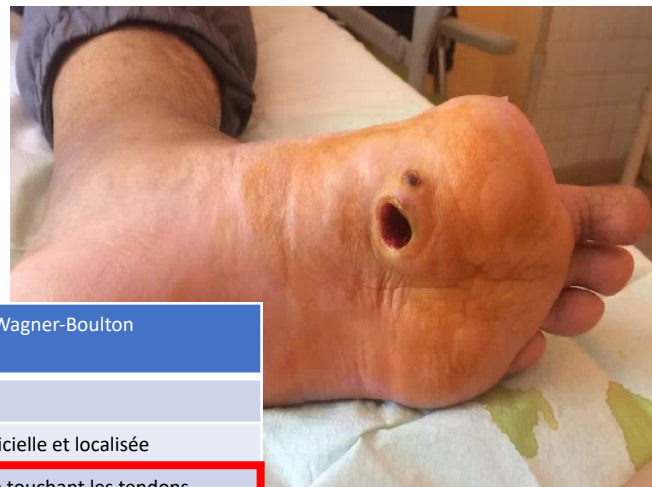
1. Remove slough, necrotic tissue, and surrounding callus of a diabetic foot ulcer with sharp debridement in preference to other methods, taking relative contraindications such as pain or severe ischemia into account (GRADE strength of recommendation: strong; quality of evidence: low).
2. Dressings should be selected principally on the basis of exudate control, comfort, and cost (strong; low).
3. Do not use dressings/applications containing surface antimicrobial agents with the sole aim of accelerating the healing of an ulcer (strong; low).
4. Consider the use of the sucrose-octasulfate impregnated dressing as an adjunctive treatment, in addition to best standard of care, in noninfected, neuro-ischaemic diabetic foot ulcers that are difficult to heal (weak; moderate).
5. Consider the use of systemic hyperbaric oxygen therapy as an adjunctive treatment in non-healing ischaemic diabetic foot ulcers despite best standard of care (weak; moderate).
6. We suggest not using topical oxygen therapy as a primary or adjunctive intervention in diabetic foot ulcers including those that are difficult to heal (weak; low).

recommandations de l'IWGDF sur la prévention et la prise en charge du pied diabétique, édition de 2019

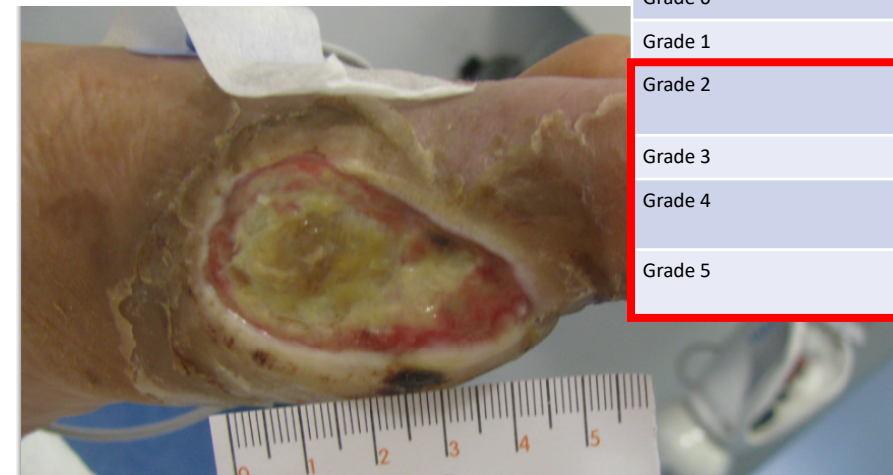


Mal perforant plantaire

- Retard de cicatrisation
- Ischémique
- Infection



Quelles plaies ?	Classification de Wagner-Boulton
Grade 0	Absence d'ulcère
Grade 1	Ulcération superficielle et localisée
Grade 2	Atteinte profonde touchant les tendons, l'articulation ou l'os
Grade 3	Abcès profond, ostéomyélite
Grade 4	Gangrène d'un ou plusieurs orteils ou de l'avant-pied
Grade 5	Gangrène massive du pied avec infection et nécrose des tissus mous





La mesure des pressions transcutanées d'oxygène (PtcO₂)

- Examen non invasif
- Évalue l'hypoxie tissulaire en air ambiant et sa correction éventuelle sous O₂ ou sous OHB
- Fonction neuro-vasculaire, consommation d'oxygène locale
- Permet de poser des critères objectifs d'indication d'un traitement par oxygénothérapie hyperbare
- Intérêt pronostic et de suivi de l'évolution





La mesure des pressions transcutanées d'oxygène (PtcO₂)

TcpO ₂ /CO ₂ Violet					
	DEC	EJ	DEC1	DEC2	O ₂
mmHg	56	55	58	59	83

TcpO ₂ /CO ₂ Jaune					
	DEC	EJ	DEC1	DEC2	O ₂
mmHg	60	60	60	60	186



TcpO ₂ /CO ₂ Orange					
	DEC	EJ	DEC1	DEC2	O ₂
mmHg	65	65	66	67	86

TcpO ₂ /CO ₂ Vert					
	DEC	EJ	DEC1	DEC2	O ₂
mmHg	66	64	66	68	121

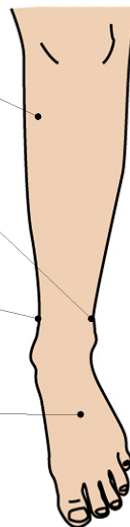
TcpO ₂ /CO ₂ Rouge					
	DEC	EJ	DEC1	DEC2	O ₂
mmHg	38	30	32	32	112

TcpO ₂ /CO ₂ Rouge		
	Air Ambient	2,5 ATA O ₂
mmHg	65	740

TcpO ₂ /CO ₂ Jaune		
	Air Ambient	2,5 ATA O ₂
mmHg	54	1 105

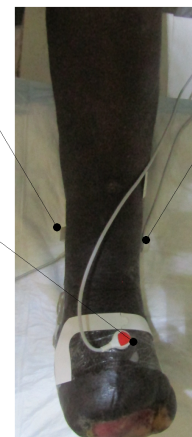
TcpO ₂ /CO ₂ Violet		
	Air Ambient	2,5 ATA O ₂
mmHg	32	760

TcpO ₂ /CO ₂ Orange		
	Air Ambient	2,5 ATA O ₂
Orange [TcpO ₂]	59	760
Orange [TcpCO ₂]	30	30



TcpO ₂ /CO ₂ Violet		
	Air Ambient	2,5 ATA O ₂
mmHg	16	954

TcpO ₂ /CO ₂ Rouge		
	Air Ambient	2,5 ATA O ₂
mmHg	6	865



TcpO ₂ /CO ₂ Jaune		
	Air Ambient	2,5 ATA O ₂
mmHg	46	1 010



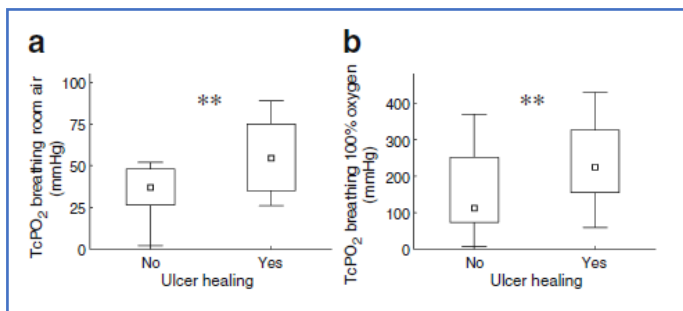
Sélection des patients

Relationship between ulcer healing after hyperbaric oxygen therapy and transcutaneous oximetry, toe blood pressure and ankle-brachial index in patients with diabetes and chronic foot ulcers

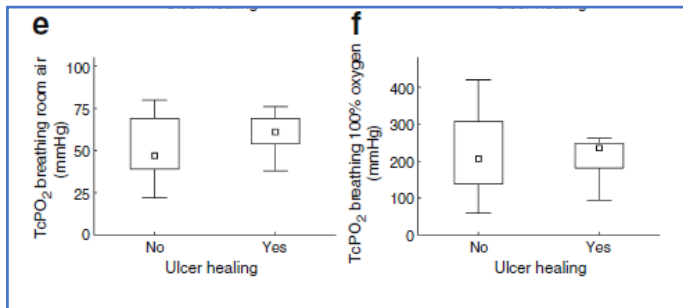
M. Löndahl · P. Katzman · C. Hammarlund · A. Nilsson · M. Landin-Olsson

Received: 25 April 2010 / Accepted: 1 September 2010 / Published online: 19 October 2010
© Springer-Verlag 2010

Effacité de l'oxygénothérapie hyperbare
Patient répondant à l'oxygène



Groupe OHB



Groupe contrôle

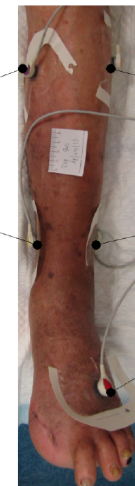
TcPO2/CO2 Violet					
	DEC	EJ	DEC1	DEC2	O2
mmHg	56	55	58	59	83

TcPO2/CO2 Orange					
	DEC	EJ	DEC1	DEC2	O2
mmHg	65	65	66	67	86

TcPO2/CO2 Jaune					
	DEC	EJ	DEC1	DEC2	O2
mmHg	60	60	60	60	186

TcPO2/CO2 Vert					
	DEC	EJ	DEC1	DEC2	O2
mmHg	66	64	66	68	121

TcPO2/CO2 Rouge					
	DEC	EJ	DEC1	DEC2	O2
mmHg	38	30	32	32	112





L'OHB n'est pas un substitut aux méthodes de revascularisations optimales

- mise en place pour contourner un geste chirurgical de revascularisation non-indiqué ou contre-indiqué.
- corrige ainsi les conséquences de l'artériopathie mais pas l'artériopathie en elle-même ni ses causes



Controverse

Randomized Controlled Trial > Diabetes Care. 2018 Jan;41(1):112-119. doi: 10.2337/dc17-0654. Epub 2017 Oct 26.

Hyperbaric Oxygen Therapy in the Treatment of Ischemic Lower- Extremity Ulcers in Patients With Diabetes: Results of the DAMO₂CLES Multicenter Randomized Clinical Trial

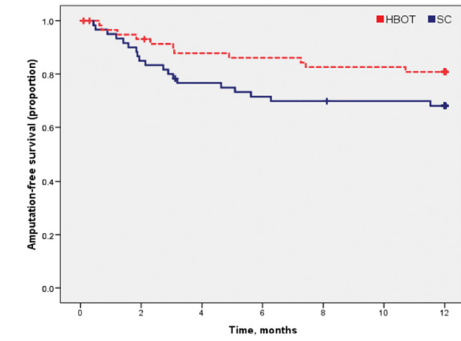
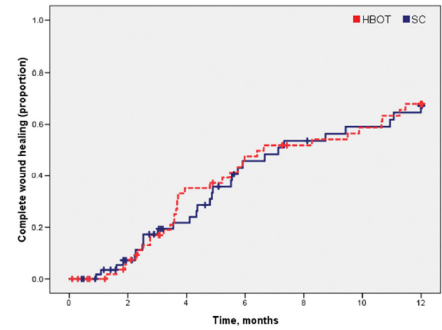
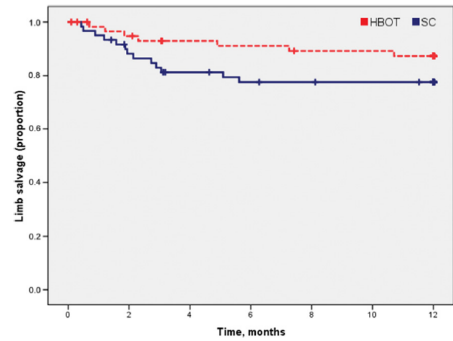
Katrien T B Santema¹, Robert M Stoekenbroek¹, Mark J W Koeleman¹, Jim A Reekers², Laura M C van Dortmont³, Arno Oomen⁴, Luuk Smeets⁵, Jan J Wever⁶, Dink A Legemate¹, Dirk T Ubbink⁷; DAMO₂CLES Study Group

Table 2—Summary of the results

	Intention-to-treat analysis			
	SC (n = 60)	SC+HBOT (n = 60)	RD % (95% CI)	RR (95% CI)
Complete wound healing				
Complete wound healing at end of follow-up	28 (47)	30 (50)	3 (−14 to 21)	0.94 (0.66–1.33)
Achieved complete wound healing during study*	29 (48)	33 (55)	7 (−11 to 24)	0.87 (0.60–1.26)
Median time to complete wound healing, days (SE)	217 (53)	202 (63)		
Limb salvage	47 (78)	53 (88)	10 (−4 to 23)	0.54 (0.23–1.26)
AFS	41 (68)	49 (82)	13 (−2 to 28)	0.58 (0.30–1.11)
Freedom from amputations index limb**	31 (52)	38 (63)	12 (−6 to 28)	0.76 (0.50–1.16)
Overall mortality	9 (15)	5 (8)	7 (−5 to 19)	0.56 (0.20–1.56)
Additional revascularization index limb***	17 (28)	14 (23)	5 (−11 to 20)	0.98 (0.81–1.19)

Table 1—Baseline characteristics (ITT analysis)

	SC, n = 60	SC+HBOT, n = 60
Mean age, years (SD)	70.6 (11.2)	67.6 (10.0)
Sex, male, n (%)	46 (77)	51 (85)
BMI (kg/m ²), mean (SD)	27.1 (4.8)	28.3 (6.0)
Wound diameter, cm, mean (SD)	3.5 (2.9)	3.2 (2.7)
Wound diameter <3 cm	33 (55)	34 (57)
Wound diameter ≥3 cm	27 (45)	26 (43)
Wound duration in months, mean (SD)	6.0 (6.8)	5.6 (6.4)
Wound classification, n (%)		
Wagner grade II	35 (58)	27 (45)
Wagner grade III	16 (27)	20 (33)
Wagner grade IV	9 (15)	13 (22)





Analyse économique

[Int J Technol Assess Health Care. 2008 Spring;24\(2\):178-83. doi: 10.1017/S0266462308080252.](#)

Cost-effectiveness and budget impact of adjunctive hyperbaric oxygen therapy for diabetic foot ulcers.

[Chuck AW¹](#), [Hailey D](#), [Jacobs P](#), [Perry DC](#).

HBOT: 149 (65 ans) 30-40 sc	Control: 156
Moins d'amputation mineure Moins d'amputation majeure 6% Augmentation chance de guérison 56% Amélioration échelle qualité de vie (QALYs:3,64) 12 ans: 40695 \$ Economie: CND\$14.4-19.7 million/year over 4 years	Echelle qualité de vie (QALYs:3,01) 12 ans: 49786 \$



♂ ; 63; Diabète type 2; HTA; AOMI

Toujeo; Diamicon; Janumet; Amlodipine+Valsartan; Tahor; Kardégic

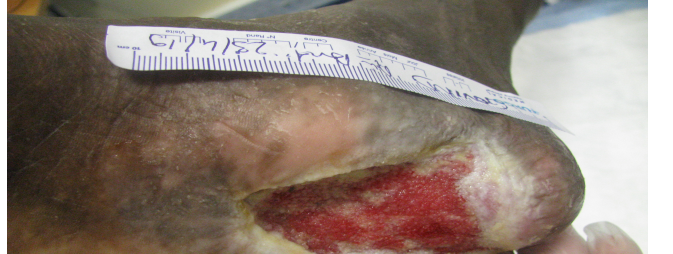
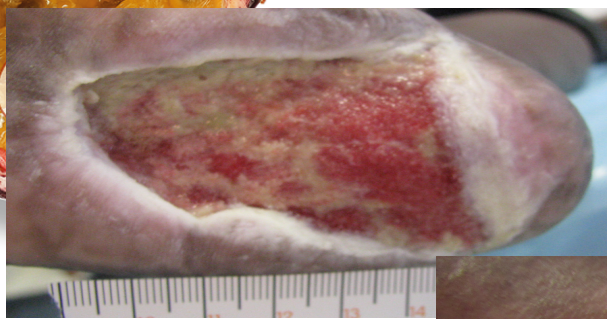
- Plaie du bord externe du talon droit suite d'un trauma avec des cailloux dans la chaussure.
- Apparition d'inflammation locale avec mise pendant 48h sous Pyostacine.
- Prise en charge chirurgicale pour excision des tissus nécrosés et infectés.
- Soins de pansement avec du miel et du sucre.

Mauvaise évolution de la plaie avec surinfection. Adressée aux urgences pour nécrose du talon droit.

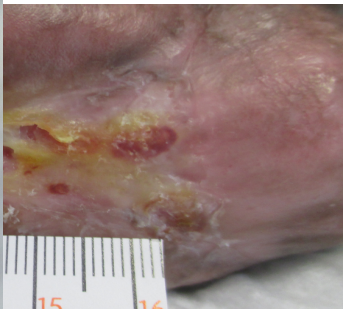
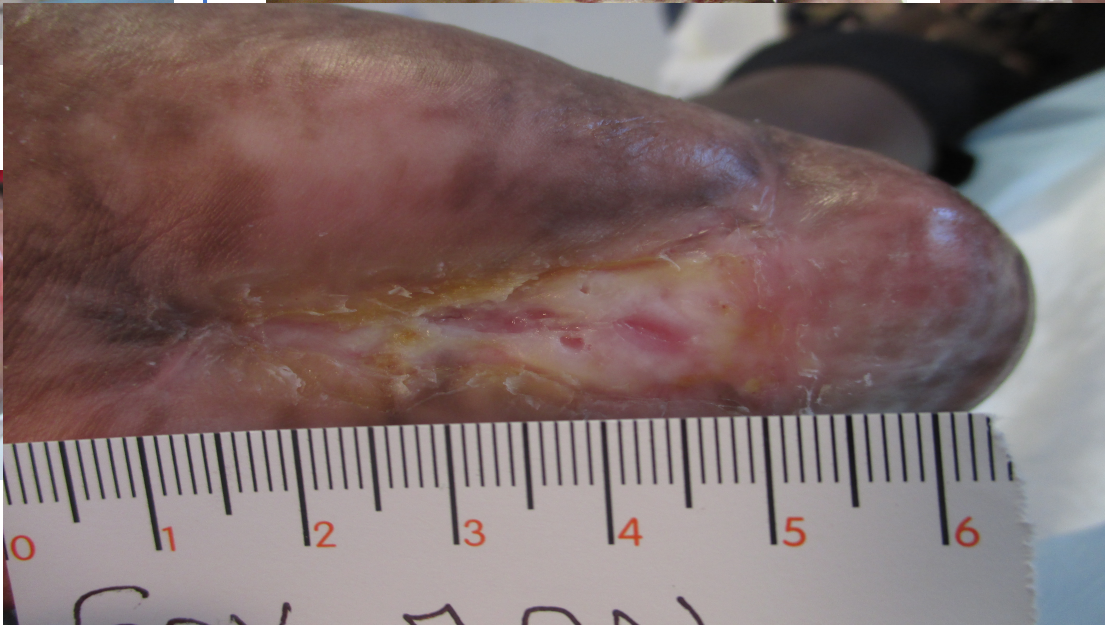
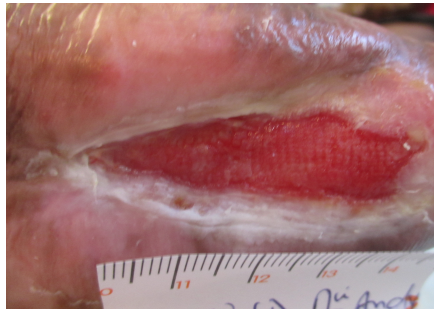
- Angio TDM: Sténoses pluri étagées des artères tibiales (antérieure et postérieure) bilatérales. Discrètes irrégularités corticales calcanéennes suspecte d'ostéite
- IRM talon: Ostéite débutante du pôle postéro-inférieur du calcanéum en regard de la perte de substance cutanée

Angioplastie de recanalisation tibiale antérieure droite + fibulaire droite + arche plantaire et détersion talon avec prélèvement
ATBTTT: TAZOCILLINE 4gx3 puis Bi-antibiothérapie de 6 semaines qui été prolongée de 3 semaines





TPN



8 mois



Conclusion

- Grade Wagner 3 +; Wlfl:2
- Prise en charge multidisciplinaire (diabétologue, médecins traitant, infirmiers, diététiciens; chirurgiens, angiologue, prothésiste...)
 - soins locaux (pansements)
 - mise en décharge,
 - pharmacothérapie (antibiotiques),
 - chirurgie (débridement, revascularisation, amputation).
 - Contrôle optimal de la glycémie
- Coopération avec les services émetteurs qu'ils soient publics, privés ou médecins de ville.
- Prise en charge sélective (l'OHB ne solutionne pas tous les cas), importance de la prise de Pression transcutanée d'O₂
- Séances consécutives 1 à 2/jour; 5 à 6 fois/semaine; entre 30 et 40 séances
- Réduit le risque d'amputation majeure
- Surveillance de l'évolution de la plaie quotidienne, d'où la nécessité d'une équipe paramédicale très bien formée à la surveillance et la réalisation des pansements.

