

**UNIVERSITE TOULOUSE III PAUL SABATIER
FACULTE DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES**

ANNEE : 2020

THESES 2020 / TOU3 / 2039

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Présentée et soutenue publiquement le 24/09/2020
par

JULIEN DUPUY

Né le 3 Juillet 1992 à Lannemezan (65)

**LA VOIE INTRA-OSSEUSE : APPROCHE PHARMACO-CLINIQUE
DES DISPOSITIFS MÉDICAUX ASSOCIÉS**

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Christian GUILLAUDIN

JURY

Président :

1^{er} assesseur :

2^{ème} assesseur :

3^{ème} assesseur :

4^{ème} assesseur :

Madame le Professeur Brigitte SALLERIN

Monsieur le Docteur Christian GUILLAUDIN

Monsieur le Docteur Laurent MAILLARD

Monsieur le Docteur Arnaud PAGÈS

Monsieur le Docteur Cyril BREUKER

**PERSONNEL ENSEIGNANT
de la Faculté des Sciences Pharmaceutiques de l'Université Paul Sabatier
au 2 mars 2020**

Professeurs Emérites

M. BENOIST H.	Immunologie
M. BERNADOU J.	Chimie Thérapeutique
M. CAMPISTRON G.	Physiologie
M. CHAVANT L.	Mycologie
M. GAIRIN J.E.	Pharmacologie
Mme NEPVEU F.	Chimie analytique
M. ROUGE P.	Biologie Cellulaire
M. SALLES B.	Toxicologie
M. SIE P.	Hématologie

Professeurs des Universités

Hospitalo-Universitaires

Mme AYYOUB M.	Immunologie
M. CHATELUT E.	Pharmacologie
Mme DE MAS MANSAT V.	Hématologie
M. FAVRE G.	Biochimie
Mme GANDIA P.	Pharmacologie
M. PARINI A.	Physiologie
M. PASQUIER C. (Doyen)	Bactériologie - Virologie
Mme ROQUES C.	Bactériologie - Virologie
Mme ROUSSIN A.	Pharmacologie
Mme SALLERIN B.	Pharmacie Clinique
M. VALENTIN A.	Parasitologie

Universitaires

Mme BARRE A.	Biologie
Mme BERNARDES-GÉNISSON V.	Chimie thérapeutique
Mme BOUTET E.	Toxicologie - Sémiologie
Mme COUDERC B.	Biochimie
M. CUSSAC D. (Vice-Doyen)	Physiologie
M. FABRE N.	Pharmacognosie
Mme GIROD-FULLANA S.	Pharmacie Galénique
M. GUIARD B.	Pharmacologie
Mme MULLER-STAUMONT C.	Toxicologie - Sémiologie
Mme REYBIER-VUATTOUX K.	Chimie analytique
M. SEGUI B.	Biologie Cellulaire
Mme SIXOU S.	Biochimie
M. SOUCHARD J-P.	Chimie analytique
Mme TABOULET F.	Droit Pharmaceutique
M. VERHAEGHE P.	Chimie Thérapeutique

Maîtres de Conférences des Universités

Hospitalo-Universitaires	Universitaires		
M. CESTAC P. (*)	Pharmacie Clinique	Mme ARELLANO C. (*)	Chimie Thérapeutique
Mme JUILLARD-CONDAT B.	Droit Pharmaceutique	Mme AUTHIER H.	Parasitologie
M. PUISSET F.	Pharmacie Clinique	M. BERGE M. (*)	Bactériologie - Virologie
Mme ROUZAUD-LABORDE C.	Pharmacie Clinique	Mme BON C.	Biophysique
Mme SERONIE-VIVIEN S. (*)	Biochimie	M. BOUJILA J. (*)	Chimie analytique
Mme THOMAS F. (*)	Pharmacologie	M. BROUILLET F.	Pharmacie Galénique
		Mme CABOU C.	Physiologie
		Mme CAZALBOU S. (*)	Pharmacie Galénique
		Mme CHAPUY-REGAUD S.	Bactériologie - Virologie
		Mme COLACIOS C.	Immunologie
		Mme COSTE A. (*)	Parasitologie
		M. DELCOURT N.	Biochimie
		Mme DERAÈVE C.	Chimie Thérapeutique
		Mme ECHINARD-DOUIN V.	Physiologie
		Mme EL GARAH F.	Chimie Pharmaceutique
		Mme EL HAGE S.	Chimie Pharmaceutique
		Mme FALLONE F.	Toxicologie
		Mme FERNANDEZ-VIDAL A.	Toxicologie
		Mme HALOVA-LAJOIE B.	Chimie Pharmaceutique
		Mme JOUANJUS E.	Pharmacologie
		Mme LAJOIE-MAZENC I.	Biochimie
		Mme LEFEVRE L.	Physiologie
		Mme LE LAMER A-C.	Pharmacognosie
		M. LEMARIE A.	Biochimie
		M. MARTI G.	Pharmacognosie
		Mme MONFERRAN S.	Biochimie
		M. OLICHON A.	Biochimie
		M. SAINTE-MARIE Y.	Physiologie
		M. STIGLIANI J-L.	Chimie Pharmaceutique
		M. SUDOR J. (*)	Chimie Analytique
		Mme TERRISSE A-D.	Hématologie
		Mme TOURRETTE-DIALLO A. (*)	Pharmacie Galénique
		Mme VANSTEELANDT M.	Pharmacognosie
		Mme WHITE-KONING M. (*)	Mathématiques

(*) Titulaire de l'habilitation à diriger des recherches (HDR)

Enseignants non titulaires

Assistants Hospitalo-Universitaires	
Mme LARGEAUD L.	Immunologie
M. LE LOUEDEC F.	Pharmacologie
M. MOUMENI A.	Biochimie
M. PAGES A.	Pharmacie Clinique
Mme SALABERT A.S	Biophysique
Assistants Hospitalo-Universitaires	
Mme ROUCH L.	Pharmacie Clinique

REMERCIEMENTS

Au Jury

Au *Professeure Brigitte Sallerin*, pharmacien hospitalier au CHU de Toulouse et enseignante à la faculté des sciences pharmaceutiques de Toulouse, je vous remercie chaleureusement d'avoir accepté de présider ma thèse et d'avoir accompagné mon parcours professionnel tout au long de mon internat.

Au *Docteur Christian Guillaudin*, pharmacien hospitalier au CH d'Agen, je te remercie infiniment d'avoir accepté d'être mon directeur de thèse. Merci pour tes idées, ta disponibilité et ton amitié. J'espère que ce travail illustrera et honorera au mieux notre engouement commun pour les dispositifs médicaux.

Au *Docteur Laurent Maillard*, médecin urgentiste et chef du département des urgences du CH d'Agen. Merci d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse et de m'avoir conseillé pour ce travail. Soyez assuré de ma profonde reconnaissance.

Au *Docteur Arnaud Pagès*, pharmacien hospitalier au CHU de Toulouse, acceptes ma gratitude pour ta participation à mon jury de thèse. Bien que je n'aie pas eu l'opportunité de beaucoup travailler avec toi pendant mon internat, j'apprécie que tu participes à mon jury pour cet événement.

Au *Docteur Cyril Breuker*, pharmacien hospitalier au CHU de Montpellier, je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury aussi rapidement.

À ma famille

Pour *ma Mère*, merci pour ton investissement et ton soutien sans faille au long de toutes ces années. Depuis mon enfance, tu as su me montrer le juste chemin et regarde là où il m'emmène aujourd'hui. La famille est, et passera, toujours avant tout.

Pour *mon Oncle*, merci de m'avoir épaulé, éduqué et soutenu depuis ma naissance. Tu m'as tout appris : le bricolage, l'agriculture, l'informatique, le sens de la famille et bien tant d'autres choses encore. Tu seras à jamais considéré comme un père à mes yeux.

Pour *ma grand-mère Francisca*, merci d'avoir pris soin de moi pendant ces nombreuses années et de m'avoir enseigné la rigueur et la culture de nos montagnes pyrénéennes. Puisses-tu être fier du parcours accompli par notre famille.

À mes amis

A *Olivier, Thibaud et Manon*, que n'oublierai-je ces fameuses randonnées odorantes, ces repas croquants, les visio-apéritifs métropolitains et bien d'autres ! Vous avez été bien urbains et ces moments inoubliables resteront à jamais gravés dans mon esprit et mon foie.

A *Rémy*, camarade de faculté depuis les temps anciens, tu as toujours été présent et a assisté du début et à la fin de mes études. Grâce à toi je n'oublierai jamais que l'augmentin, ça ne mange pas de pain !

A *Bruno*, qui m'a montré la voie médicale des péripatéticiens aux détours des forêts aranaises parsemées de fincas et de bodegas. Ta formidable préparation à l'internat, de l'Aragón au país Vasco, m'a permis de devenir pharmacien et fin gourmet !

A *Mickaël, Damien, Sarah, Wilhelm, Nicolas, Julie*, et tous mes amis que j'ai côtoyés aux facultés de pharmacie, de médecine et de dentaire. Faites que même dément je n'oublie jamais nos années Toulousaines !

A *mes amis Internes* : Marie-Lou, Florent, Sophie, Céline, Pierre et Paul, Julien, Isabelle, Rémi, Anne, Thomas, Pierre P, Amanda, Khevin, Sophie, Mathew, Amine. Que nous avons bien rigolés pendant ces merveilleuses quatre années d'internat !

A Antoine et Giobí, les agenais toujours prêts pour tous les coups (et surtout pour une bonne entrecôte mûrée) et qui sont venus jusqu'en Martinique pour profiter de petits-feux à mes côtés !

A Christian et Cathy, et oui Christian tu as le droit à un deuxième remerciement ! Merci à vous deux pour votre soutien et pour ces moments sympathiques.

À mes collègues de travail

A l'équipe de la stérilisation d'Agen, merci pour ces bons moments à vos côtés et votre bonne humeur. J'espère avoir l'occasion de retravailler un jour avec vous.

A toute l'équipe de l'hôpital du Chiva, de mon début à ma fin d'internat vous m'avez accompagné dans mon parcours professionnel et personnel. Merci à tous, avec une pensée particulière pour Mme Gimenez.

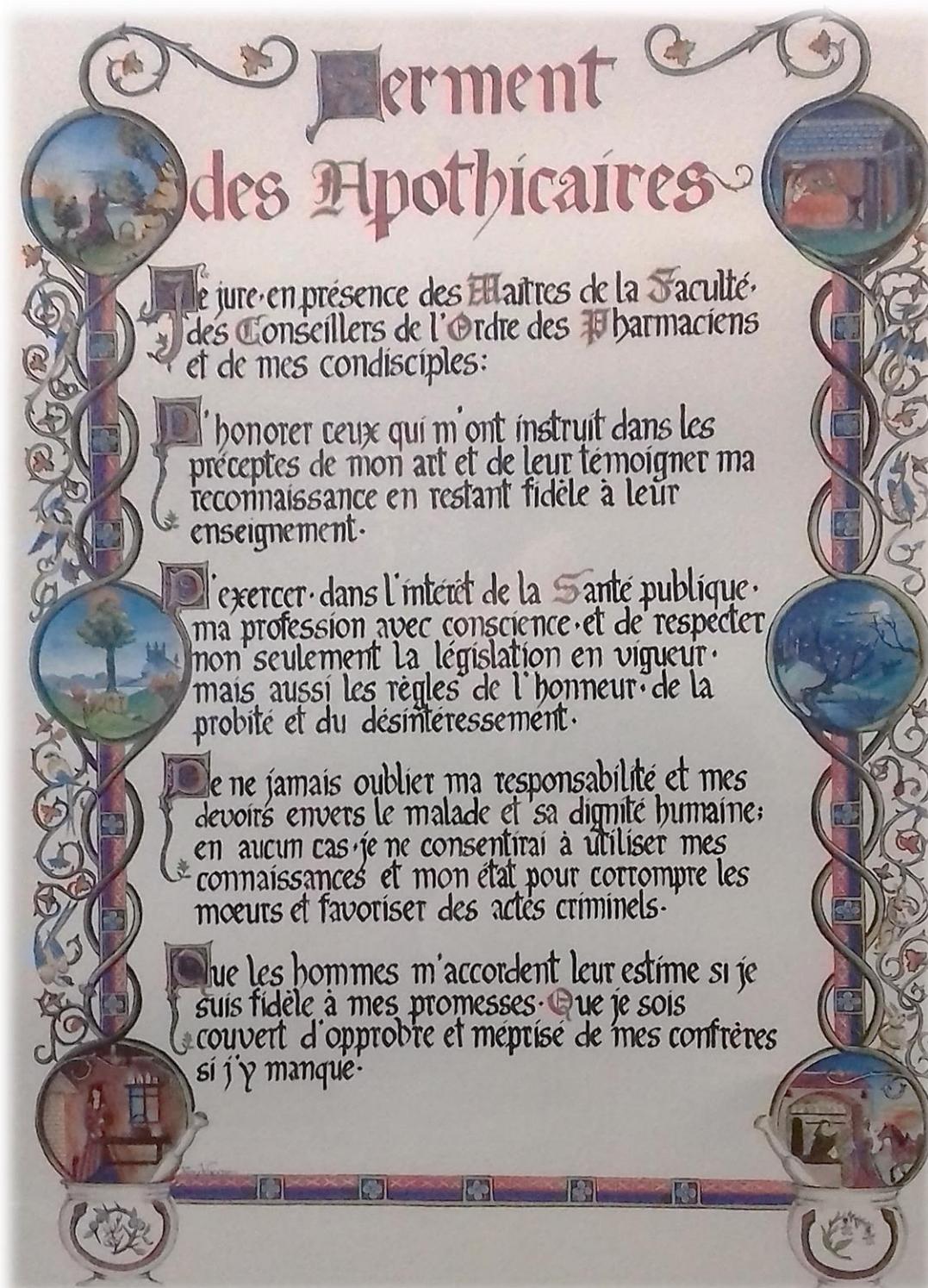
Aux Collègues et Amis de la Martinique, qui m'ont accueilli à bras ouvert (de rhum) et de délicieuses recettes créoles agrémentées de leur joie de vivre. Merci à Lucienne et Joby pour votre accueil et vos petites attentions pendant ce trop bref moment. Un clin d'œil à mes amis Lyonnais et Lillois (avec leurs ~~petits pains~~ chocolatines).

À Mélanie, toi qui m'accompagnes depuis le début de nos études. Je t'ai transmis ma passion de l'aventure et tu m'as toujours suivi peu importe la destination et les conditions. Nous avons pris le même chemin et nous ne sommes qu'au début du voyage. Tu es ma meilleure moitié, celle qui restera à jamais gravée dans mon cœur.

Et à tous ceux que je n'ai pas cités mais qui m'ont un jour soutenu dans mon parcours.

SERMENT DES APOTHICAIRES

Enluminure reproduite avec l'aimable autorisation des Éditions Larroque™



« De par l'étendue de leurs connaissances, les pharmaciens sont parmi les rares personnes à pouvoir appréhender l'ensemble du monde réel »

Dr Pierre-Gilles de Gennes, Prix Nobel de Physique 2011

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	3
SERMENT DES APOTHICAIRES.....	6
TABLE DES MATIÈRES	8
TABLE DES FIGURES.....	10
TABLE DES ANNEXES	13
TABLE DES ABRÉVIATIONS.....	14
INTRODUCTION.....	15
I. LE SYSTEME OSSEUX.....	16
A. ANATOMIE DES OS LONGS	16
1. <i>Le tissu osseux</i>	17
2. <i>La moelle osseuse</i>	25
3. <i>Le tissu cartilagineux</i>	26
B. OS COURTS, PLATS ET IRREGULIERS	27
C. FONCTIONS DU TISSU OSSEUX	27
D. UNE VOIE D'ACCES VASCULAIRE SINGULIERE	28
II. INDICATIONS ET CONTRE-INDICATIONS DE LA PERFUSION INTRA-OSSEUSE.....	29
A. LES INDICATIONS D'UTILISATIONS DE LA VIO	29
B. LES CONTRE-INDICATIONS	31
III. LA PETITE HISTOIRE DE LA VOIE INTRA-OSSEUSE	32
A. LES PREMICES D'UN NOUVEL ABORD VASCULAIRE.....	32
B. LES PREMIERS ESSAIS SUR L'HOMME.....	34
C. UNE TECHNIQUE DELAISSEE PUIS REDECOUVERTE	38
D. MODERNISATION ET EXPANSION DE LA VIO.....	40
III. LES DISPOSITIFS MEDICAUX DE L'ABORD VASCULAIRE INTRA-OSSEUX	41
A. DISPOSITIFS ANCIENNEMENT UTILISES OU ABANDONNES	42
1. <i>Les trocarts manuels au début du XX^{ème} siècle</i>	42
2. <i>Les dispositifs de la fin du XX^{ème} siècle</i>	51
B. DISPOSITIFS MEDICAUX UTILISES DE NOS JOURS	55
1. <i>À insertion manuelle</i>	55
2. <i>À percussion</i>	71
3. <i>À insertion motorisée</i>	74
C. UN CHEMINEMENT VERS DE NOUVELLES INNOVATIONS	80
IV. LA VIO : DE L'INSERTION A L'ABLATION DES CATHETERS	83
A. DEROULEMENT CONVENTIONNEL D'UNE POSE DE VIO	83
1. <i>Préparation du site</i>	83
2. <i>Insertion de l'aiguille / trocart</i>	83
3. <i>Contrôles de la bonne mise en place des DM IO</i>	85
4. <i>L'analgésie intra-osseuse</i>	86
5. <i>Le début de la perfusion</i>	87
B. LES DIFFERENTS SITES D'ACCES INTRA-OSSEUX	87
1. <i>Le sternum</i>	88
2. <i>L'humérus proximal</i>	89
3. <i>Le tibia proximal</i>	91

4. <i>Le tibia distal</i>	92
5. <i>Le fémur distal</i>	92
6. <i>Le calcaneus</i>	93
7. <i>Le radius distal</i>	94
8. <i>L'os iliaque</i>	94
9. <i>Les sites d'exceptions</i>	95
C. RETRAIT DES DISPOSITIFS IO	96
D. LE CHOIX D'UN DISPOSITIF MEDICAL ADAPTE	97
V. RISQUES ET COMPLICATIONS DE LA VIO	98
A. RISQUES LIES A LA MISE EN PLACE D'UNE VIO	98
1. <i>Risques mécaniques</i>	98
2. <i>Risques physiologiques</i>	102
B. COMPLICATIONS A DISTANCE DE LA POSE.....	103
VI. DONNEES PHARMACOLOGIQUES ET PHARMACOCINETIQUES	105
A. ADMINISTRATION DES MEDICAMENTS PAR VIO	105
B. PHARMACOCINETIQUE INTRA-OSSEUSE	106
VII. LA PERFUSION INTRA-OSSEUSE : ETAT DES LIEUX	108
A. LA VIO DANS TOUS SES ETATS.....	108
1. <i>Les urgences vitales et polytraumatisés</i>	108
2. <i>La question de la gériatrie</i>	109
3. <i>La pédiatrie et la néonatalogie</i>	109
4. <i>Et pourquoi pas en oncologie ?</i>	110
5. <i>La biologie médicale</i>	111
6. <i>Usage militaire et lors de situations exceptionnelles : des traumatismes balistiques aux risques NRBC</i> .	113
B. LE CORPS MEDICAL ET PARAMEDICAL AU CENTRE DE LA PRISE EN CHARGE HOSPITALIERE ET PREHOSPITALIERE	114
1. <i>De la formation médicale vers la pratique clinique</i>	116
2. <i>Question de la délégation de pose infirmier</i>	121
VIII. LE PHARMACIEN CLINICIEN DES DISPOSITIFS MEDICAUX	124
A. GESTION ET APPROVISIONNEMENT DES DISPOSITIFS MEDICAUX AU SEIN D'UNE PUI	125
B. LE JUSTE USAGE DES DISPOSITIFS MEDICAUX.....	128
C. ETUDE MEDICO-ECONOMIQUE	129
1. <i>Coûts des dispositifs médicaux</i>	129
2. <i>Remboursement et codage des actes médicaux</i>	129
D. INTERET D'UN KIT INTRA-OSSEUX PRET A L'EMPLOI.....	131
1. <i>La réserve plan blanc</i>	131
2. <i>Sac interventionnel « Damage Control »</i>	133
3. <i>Kit mobile « Montagne »</i>	134
IX. CONCLUSION.....	136
BIBLIOGRAPHIE	137
ANNEXES	153
ENGLISH ABSTRACT.....	164
RESUMÉ EN FRANÇAIS	165

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 - SCHEMA ANATOMIQUE GENERAL D'UN OS LONG HUMAIN	17
FIGURE 2 - SCHEMA ANATOMIQUE GENERAL D'UN OS LAMELLAIRE	19
FIGURE 3 - JONCTION ENTRE OS TRABECULAIRE ET OS CORTICAL OBSERVEE AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE	20
FIGURE 4 - ARTERIOLE INTRA-OSSEUSE VUE AU MICROSCOPE OPTIQUE	21
FIGURE 5 - SCHEMA DU SYSTEME CIRCULATOIRE ARTERIEL D'UN OS LONG	22
FIGURE 6 - SCHEMA DU SYSTEME CIRCULATOIRE VEINEUX D'UN OS LONG	23
FIGURE 7 - OBSERVATION D'UNE COUPE OSSEUSE	24
FIGURE 8 - SCHEMA DE PRESENTATION DE LA PRESSION INTRA-OSSEUSE	25
FIGURE 9 - SCHEMAS ANATOMIQUES D'UN OS PLAT ET D'UN OS COURT	27
FIGURE 10 - RADIOGRAPHIE D'UNE PERFUSION INTRA-OSSEUSE STERNALE DE MERCURE CHEZ LE LAPIN	32
FIGURE 11 - PHOTOGRAPHIE DU DR CECIL KENT DRINKER EN 1935	33
FIGURE 12 - PHOTOGRAPHIE DU DR MIKHAIL ARINKIN	34
FIGURE 13 - PHOTOGRAPHIE DE TROCARTS DE MALLARME DATANT DES ANNEES 1930	35
FIGURE 14 - PHOTOGRAPHIE DU DR HENRY HAMILTON BAILEY	36
FIGURE 15 - PHOTOGRAPHIE D'UNE INDUCTION D'ANESTHESIE GENERALE PAR ADMINISTRATION STERNALE DE BARBITURIQUES	37
FIGURE 16 - PHOTOGRAPHIE D'UNE AMPOULE D'EVIPAN® (HEXOBARBITAL) PRODUIT PAR BAYER™ DANS LES ANNEES 1933	37
FIGURE 17 - PHOTOGRAPHIE D'UNE TRANSFUSION D'UN CULOT GLOBULAIRE SANGUIN PAR VOIE STERNALE GRACE A UNE POMPE A PISTONS EN 1949.....	39
FIGURE 18 - SCHEMA DE L'ASSEMBLAGE DU CATHETER PLASTIQUE DE MASSA-ROCHESTER.....	39
FIGURE 19 - PHOTOGRAPHIE DE L'EVALUATION DU DISPOSITIF MEDICAL EZ-IO® EN 2007 LORS D'UN VOL SUBORBITAL EN MICROGRAVITE DE LA NASA.....	41
FIGURE 20 - PHOTOGRAPHIE DE L'INSERTION D'UNE AIGUILLE AU MARTEAU DANS LE STERNUM.....	43
FIGURE 21 - PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART PEDIATRIQUE DE JOSEFSON-ARINKIN.....	44
FIGURE 22 - SCHEMA D'UN TROCART DE WITTS.....	44
FIGURE 23 - PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART DE SALAH DES ANNEES 1940	45
FIGURE 24 - SCHEMA D'UN TROCART DE SALAH.....	45
FIGURE 25 - PHOTOGRAPHIE D'UNE POIGNEE AVEC MANDRIN FIXE ET SON AIGUILLE DE KLIMA	46
FIGURE 26 - PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART DE KLIMA-ROSSEGER	46
FIGURE 27 - SCHEMA DE L'AIGUILLE-TROCART DE SILVERMAN	47
FIGURE 28 - SCHEMA DE L'AIGUILLE-TROCART MODIFIE DE VIM & SILVERMAN	47
FIGURE 29 - PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART D'OSGOOD	47
FIGURE 30 - PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART DE TOCANTINS.....	48
FIGURE 31 - PHOTOGRAPHIE D'UNE COUPE SAGITTALE D'UN STERNUM ADULTE AVEC UN TROCART DE TOCANTINS POSITIONNE	48
FIGURE 32 - PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART DE TURKEL ET BETHELL.....	48
FIGURE 33 - SCHEMA D'UNE AIGUILLE DE BAILEY	49
FIGURE 34 - SCHEMAS DES DIFFERENTES TAILLES DE TROCARTS DE GIMSON ET DE LA POIGNEE UNIVERSELLE	49
FIGURE 35 - SCHEMA D'UNE AIGUILLE DE REDDY EN 1945	50
FIGURE 36 - PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART DE WATERFIELD.....	50
FIGURE 37 - SCHEMA D'UN TROCART DE LIMARZI EN 1948.....	51
FIGURE 38 - PHOTOGRAPHIE DU POSITIONNEMENT DU TROCART DE LIMARZI AU NIVEAU DU 2EME ESPACE INTERCOSTAL	51
FIGURE 39 - PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART DE GARDNER.....	52
FIGURE 40 - PHOTOGRAPHIE DU SUR-FAST® MONTE AVEC UNE AIGUILLE IV	52
FIGURE 41 - TROCART MEDSURG® A AILETTES DE 20 G ET TROCART MEDSURG® SANS AILETTES POUR PONCTION LOMBAIRE DE 13 G	53
FIGURE 42 - PHOTOGRAPHIE DE L'OSTEOPORT®.....	53
FIGURE 43 - MANCHE D'INSERTION MANUEL DE L'OSTEOPORT®	54
FIGURE 44 - SCHEMAS DE L'OSTEOPORT® ET DE SON POSITIONNEMENT ILIAQUE.....	54
FIGURE 45 - PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART DE MALLARME EN ACIER INOXYDABLE, 1935.....	56
FIGURE 46 - PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART DE MALLARME EN PLASTIQUE, 2015	56
FIGURE 47 - PHOTOGRAPHIE D'UNE AIGUILLE DE COOK™	57
FIGURE 48 - SCHEMA D'UNE AIGUILLE DE COOK™ AVEC MODIFICATION DE DIECKMANN®	57

FIGURE 49 - SCHEMA D'UNE AIGUILLE DE COOK™ AVEC MODIFICATION DE SUSSMANE-RASZYNSKI®	58
FIGURE 50 - PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART DE ROSENTHAL	58
FIGURE 51 - SCHEMA ET PHOTOGRAPHIE D'UN TROCART D'ILLINOIS.....	59
FIGURE 52 - PHOTOGRAPHIES DES MODELES TJC, TJM ET DJ	60
FIGURE 53 - PHOTOGRAPHIE DU TROCART DE KENDALL	60
FIGURE 54 - PHOTOGRAPHIE DE LA PREMIERE VERSION DU TROCART D'ISLAM, 1991	61
FIGURE 55 - SCHEMAS D'UN TROCART D'ISLAM	61
FIGURE 56 - PHOTOGRAPHIE DE LA VERSION MODIFIEE DU TROCART D'ISLAM, 2016	62
FIGURE 57 - PHOTOGRAPHIE D'UNE POIGNEE EZ-IO®.....	62
FIGURE 58 - PHOTOGRAPHIE DE L'EZ-IO T.A.L.O.N® , SON REPERE STERNAL ET LE RACCORD EZ-CONNECT®	63
FIGURE 59 - PHOTOGRAPHIE DE L'EZ-IO MANUAL NEEDLE® DE 1 ^{ERE} GENERATION	63
FIGURE 60 - PHOTOGRAPHIES DE L'EZ-IO MANUAL NEEDLE® DE 2 ^{EME} GENERATION ET SA VERSION D'ENTRAINEMENT ROUGE	64
FIGURE 61 - PHOTOGRAPHIES ET SCHEMA DU TROCART EZ-IO STERNAL NEEDLE® ET DE SON KIT PRET A L'EMPLOI	65
FIGURE 62 - PHOTOGRAPHIE DU PROMETHEUS PIN® ET DE SON DISPOSITIF STABILISATEUR.....	65
FIGURE 63 - PHOTOGRAPHIE DU TROCART INTRAOX®	66
FIGURE 64 - PHOTOGRAPHIE DU FAST-1®	67
FIGURE 65 - PHOTOGRAPHIE DU FAST RESPONDER STERNAL IO®	67
FIGURE 66 - PHOTOGRAPHIE DU FAST TACTICAL®	68
FIGURE 67 - PHOTOGRAPHIE DU SIB®	68
FIGURE 68 - PHOTOGRAPHIE DU NEAR NEEDLE HOLDER® MONTE AVEC UNE AIGUILLE HYPODERMIQUE ROSE DE 18 G	69
FIGURE 69 - PHOTOGRAPHIE D'UNE AIGUILLE A BISEAU DIRECTIONNEL DE TUOHY EN 16 G.....	70
FIGURE 70 - PHOTOGRAPHIE D'AIGUILLES HYPODERMIQUES	70
FIGURE 71 - PHOTOGRAPHIE D'UN MICROPERFUSEUR A AILETTES DE 23 G.....	70
FIGURE 72 - PHOTOGRAPHIE D'UN CATHETER IV DE 24 G.....	70
FIGURE 73 - SCHEMAS DU SYSTEME D'ACTIVATION INTERNE DU BIG®	71
FIGURE 74 - PHOTOGRAPHIES DE L'EMPLOI DU DISPOSITIF BIG®	72
FIGURE 75 - PHOTOGRAPHIES DES TROIS BIG® : ADULTE (BLEU), PEDIATRIQUE (ROUGE), VETERINAIRE (VERT).....	72
FIGURE 76 - PHOTOGRAPHIE DU NIO® ADULTE (BLEU) ET PEDIATRIQUE (ROUGE).....	73
FIGURE 77 - PHOTOGRAPHIE DU NIO-INFANT®	74
FIGURE 78 - PHOTOGRAPHIE DU DISPOSITIF MOTORISE EZ-IO® DE PREMIERE GENERATION	75
FIGURE 79 - PHOTOGRAPHIES DU DISPOSITIF MOTORISE EZ-IO® DE DEUXIEME GENERATION DIT « G3 », EN VERSION CIVILE (ROUGE) ET MILITAIRE (NOIR).....	75
FIGURE 80 - PHOTOGRAPHIE DES TROIS TYPES D'AIGUILLES EZ-IO®	76
FIGURE 81 - PHOTOGRAPHIE DES AIGUILLES D'ENTRAINEMENT EZ-IO®	76
FIGURE 82 - PHOTOGRAPHIE DU PANSEMENT EZ-STABILIZER® POUR EZ-IO®	78
FIGURE 83 - PHOTOGRAPHIE DU RACCORD EZ-CONNECT® POUR EZ-IO®	78
FIGURE 84 - PHOTOGRAPHIE DU KEEPSAFE® POSITIONNE AVEC UNE AIGUILLE EZ-IO® ET UN RACCORD EZ-CONNECT®	79
FIGURE 85 - PHOTOGRAPHIE DU DISPOSITIF MEDICAL ONCONTROL® ET DE SES AIGUILLES	79
FIGURE 86 - PHOTOGRAPHIES DU DISPOSITIF MEDICAL IMPLANTABLE PORTIO®	80
FIGURE 87 - PHOTOGRAPHIE DE LA PERCEUSE SAM IO®	81
FIGURE 88 - PHOTOGRAPHIES DES TROIS TAILLES D'AIGUILLES SAM IO®	81
FIGURE 89 - PHOTOGRAPHIES DU PANSEMENT SAM IO STABILIZER® ET DU RACCORD SAM IO CONNECTOR®	81
FIGURE 90 - PHOTOGRAPHIE DU SAM IO ADAPTOR® POUR LES AIGUILLES EZ-IO®	82
FIGURE 91 - SCHEMAS DE MODELISATION INFORMATIQUE 3D DE L'UNITAM®	82
FIGURE 92 - PHOTOGRAPHIE DU POSITIONNEMENT IDEAL DU TROCART IO DANS LA CAVITE MEDULLAIRE SUR UNE COUPE TRANSVERSALE OSSEUSE	85
FIGURE 93 - SCHEMA DES DIFFERENTS SITES D'INSERTION INTRA-OSSEUX POSSIBLES.....	88
FIGURE 94 - SCHEMA DE REPERAGE DU SITE D'INJECTION DU MANUBRIUM STERNAL	89
FIGURE 95 - SCHEMAS DU REPERAGE DE LA GROSSE TUBEROSITE HUMERALE.....	90
FIGURE 96 - RADIOGRAPHIE ET TOMOGRAPHIE 3D D'UN TROCART INTRA-OSSEUX POSITIONNE EN TIBIA PROXIMAL	91
FIGURE 97 - SCHEMAS D'INSERTION D'UN TROCART MANUEL AU NIVEAU DE LA MALLEOLE MEDIAL	92
FIGURE 98 - SCHEMA D'UNE VUE ANTERIEURE ET SAGITTALE DU POINT D'INSERTION FEMORALE	93
FIGURE 99 - PHOTOGRAPHIE D'UNE INSERTION INTRA-OSSEUSE CALCANEENNE SUR UN MODELE CADAVERIQUE	94

FIGURE 100 - PHOTOGRAPHIE DU POSITIONNEMENT POUR ACCES IO MANDIBULAIRE AVEC EZ-IO®	95
FIGURE 101 - RADIOGRAPHIE D'UNE TENTATIVE D'ACCES IO PAR VOIE TIBIALE PROXIMALE	99
FIGURE 102 - RADIOGRAPHIE DE L'ÉPAULE DROITE AVEC UNE AIGUILLE INTRA-OSSEUSE COURBEE DANS LA TÊTE HUMERALE ET UNE PHOTOGRAPHIE D'UNE AIGUILLE EZ-IO® COURBEE ET EXTRAITE CHIRURGICALEMENT	99
FIGURE 103 - PHOTOGRAPHIE D'UN CŒUR PRESENTANT UNE LACERATION CARDIAQUE ANTERIEURE DE 0,6 CM A TRAVERS LA CHAMBRE VENTRICULAIRE DROITE SUITE A UNE PONCTION STERNALE EFFECTUEE SUR UN HOMME DE 23 ANS.....	100
FIGURE 104 - PHOTOGRAPHIE D'UN SYNDROME DES LOGES POST-EXTRAVASATION CHEZ UN NOURRISSON DE 3 MOIS SUITE A UNE PERFUSION IO TIBIALE	104
FIGURE 105 - REPARTITION GEOGRAPHIQUE INTERREGIONALE DES MEDECINS ET INTERNES PARTICIPANT A L'ENQUETE VIO	115
FIGURE 106 - REPARTITION DES SPECIALITES MEDICALES DES PARTICIPANTS DE L'ENQUETE	115
FIGURE 107 - ORIGINE DE LA FORMATION MEDICALE INTRA-OSSEUSE DES MEDECINS ET INTERNES	116
FIGURE 108 - REPARTITION DES POSES DE VIO SELON LES SERVICES HOSPITALIERS.....	118
FIGURE 109 - TYPOLOGIE DES DM IO UTILISES SELON LES SERVICES.....	119
FIGURE 110 - SITES D'INSERTIONS PLEBISCITES	120
FIGURE 111 - COMPLICATIONS RELATEES APRES UNE PERFUSION IO	120
FIGURE 112 - CARTE DE LA REPARTITION DES PUI SOLLICITEES POUR L'ENQUETE INTERREGIONALE.....	124
FIGURE 113 - REPARTITION DES MARCHES DE GROUPEMENTS D'ACHATS DE DISPOSITIFS MEDICAUX DES PUI SOLLICITEES	125
FIGURE 114 - PROPORTION CUMULEE DES SERVICES CONSOMMATEURS DE DM IO	126
FIGURE 115 - DEMANDES MEDICALES DE REFERENCEMENT D'UN DM IO	127
FIGURE 116 - CHOIX D'UN DM POUR LE KIT IO DE LA RESERVE PLAN BLANC	131
FIGURE 117 - PHOTOGRAPHIE DU SAC INTERVENTIONNEL SAMU "DAMAGE CONTROL" EN COURS DE DEPLOIEMENT	134
TABLEAU 1 - COMPARAISON DES DIFFERENTES CARACTERISTIQUES DES DISPOSITIFS MEDICAUX INTRA-OSSEUX.....	98
TABLEAU 2 - DEBITS DES VOIES INTRA-OSSEUSES (AVEC MANCHETTE A PRESSION REGLEE A 300 MMHG)	108
TABLEAU 3 - CORRELATION DES RESULTATS DE TESTS BIOLOGIQUES EFFECTUES A PARTIR D'ECHANTILLONS INTRA-OSSEUX VERSUS INTRAVEINEUX	112

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE N°1 : PROTOCOLE DU CHOIX D'AIGUILLES INTRA-OSSEUSE EZ-IO® POUR LES PATIENTS AVEC IMC > 30	154
ANNEXE N°2 : PROTOCOLE D'ANALGESIE INTRA-OSSEUSE	155
ANNEXE N°3 : LISTE DES MEDICAMENTS ETUDIES PAR VOIE INTRA-OSSEUSE DANS LA LITTERATURE	156
ANNEXE N°4 : LISTE DU MATERIEL DE REANIMATION SMUR SELON L'ARRETE DU 10 FEVRIER 2009	169
ANNEXE N°5 : QUESTIONNAIRE MEDICAL VIO	160
ANNEXE N°6 : FICHE DE BON USAGE DES DISPOSITIFS MEDICAUX INTRA-OSSEUX DU CENTRE HOSPITALIER D'AGEN-NERAC	162
ANNEXE N°7 : E-POSTER DU CENTRE HOSPITALIER D'AGEN-NERAC, PRESENTE AU CONGRES HOPIPHARM 2019 A MARSEILLE	163
ANNEXE N°8 : QUESTIONNAIRE DE FORMATION SUR LA VOIE INTRA-OSSEUSE	164

TABLE DES ABRÉVIATIONS

AHA : American Heart Association – Association de Cardiologie Américaine
ACR : Arrêt Cardio-Respiratoire
AMM : Autorisation de Mise sur le Marché
ANSM : Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé
ARS : Agence Régionale de Santé
BIG® : Bone Injection Gun – Pistolet pour injection intra-osseuse
DIM : Département d'information Médicale
DM : Dispositif Médical / Dispositifs Médicaux
EMS : Emergency Medical Services – Service Médical d'Urgence
ERC : European Resuscitation Council – Conseil Européen de Réanimation
EVA : Echelle Visuelle Analogique
FAST® : First Access for Shock and Trauma – Premier accès pour chocs et traumatismes
FDA : Food and Drug Administration – Agence Américaine des Produits Alimentaires et Médicamenteux
HAS : Haute Autorité de Santé
IDE : Infirmier Diplômé d'Etat
ILCOR : International Liaison Committee on Resuscitation – Comité de Liaison International de Réanimation
IMC : Indice de Masse Corporelle
IO : Intra-osseux / Intra-osseuse
ISS : International Space Station – Station Spatiale Internationale
IV : Intraveineux
NASA : National Aeronautics and Space Administration – Agence Nationale de l'Aéronautique et de l'Espace
NIO® : New IntraOsseous device – Nouveau dispositif intra-osseux
NRBC : Nucléaire, Bactériologique, Biologique et Chimique
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
PIO : Perfusion Intra-Osseuse
PMSI : Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information
PUI : Pharmacie à Usage Intérieur
RCP : Résumé des Caractéristiques du Produit
SAMU : Service d'Aide Médicale Urgente
SF2H : Société Française d'Hygiène Hospitalière
SMUR : Service Mobile d'Urgence et de Réanimation
SSA : Service de Santé des Armées
USA : United States of America – Etats Unis d'Amérique
VIO : Voie Intra-Osseuse
VVP : Voie Veineuse Périphérique

Introduction

L'administration de médicaments dans un délai le plus précoce possible est un des facteurs décisifs pour l'amélioration du pronostic dans les cas d'urgence vitale.

Devant la diversité des pathologies rencontrées par les équipes médicales d'urgence et de réanimation, il est nécessaire de promouvoir un accès vasculaire spécifique et protocolisé afin de pouvoir agir le plus rapidement possible. Le temps est un facteur primordial dans le cadre d'une bonne prise en charge préhospitalière et hospitalière.

Il est communément admis que la voie veineuse périphérique (VVP) est la voie d'urgence privilégiée au premier abord du fait de son accès polyvalent et universel. Néanmoins, l'échec de pose d'une voie vasculaire est un risque d'augmentation de la mortalité. En effet, même avec du personnel médical expérimenté, on estime que l'obtention d'un accès intraveineux peut durer jusqu'à plus de 10 minutes dans 24 % des cas d'urgences vitales. Par ailleurs, pour 6 % des victimes, on considère qu'il est totalement impossible de poser une voie veineuse(1).

C'est dans ce but que d'autres voies d'accès vasculaires, tels que la voie veineuse jugulaire, la voie centrale fémorale, la voie sous-clavière ou la voie endotrachéale ont été utilisées en médecine d'urgence. Cependant, ces méthodes demeurent limitées de part une complexité technique trop élevée en situation d'urgence selon l'accès utilisé. Par ailleurs, le degré d'absorption des médicaments par voie endotrachéale demeure incertain. En outre, la voie intracardiaque a également été utilisée mais a été écartée au décours d'une augmentation des complications, notamment de lésions artérielles ou de pneumothorax. En pédiatrie, la voie transfontanellaire à travers le sinus longitudinal supérieur fût envisagée mais rarement utilisée en pratique courante. Toutes ces voies d'accès ne sont pas forcément abordables selon le contexte d'intervention et certaines nécessitent une surveillance médicale accrue.

Longtemps oubliée, la perfusion intra-osseuse (PIO) réapparaît alors depuis quelques années comme une technique permettant la mise en place d'un accès vasculaire rapide lors de diverses situations d'urgences. D'abord et principalement utilisée en pédiatrie, ses indications s'étendent par la suite et progressivement vers un usage universel quel que soit l'âge du patient. Depuis quelques années, son essor pour la médecine hospitalière sans critères d'urgences est envisagé notamment en gériatrie ou en médecine interne.

Les objectifs de ce travail sont d'introduire l'importance du rôle du pharmacien hospitalier dans l'amélioration de la prise en charge des patients traités grâce à une voie intra-osseuse (VIO), de promouvoir des recommandations pour un juste usage des dispositifs médicaux intra-osseux (IO) et d'analyser leurs places au sein des structures hospitalières françaises.

A cet égard, il sera entrepris une revue complète de cet accès vasculaire : son histoire, les dispositifs médicaux (DM) disponibles sur le marché et leurs indications, les différentes techniques de pose et sites d'insertion, les risques et les complications, la pharmacodynamie et la pharmacocinétique des médicaments. Par la suite, nous nous focaliserons également sur les aspects législatifs ainsi que sur la formation du personnel médical et paramédical à ces dispositifs.

Enfin, nous développerons un point sur la pharmacie clinique des DM et ses applications pratiques ; de la gestion et du référencement des dispositifs médicaux au juste usage des DM pour l'amélioration des pratiques cliniques. Des axes et des propositions d'amélioration et de perfectionnement seront proposés afin d'optimiser et de promouvoir l'accès IO vis à vis du système hospitalier français actuel.

I. Le système osseux

Avant de détailler les principes de la voie intra-osseuse, il est primordial de rappeler quelques principes fondamentaux d'anatomie, d'organisation et de fonctionnement du système osseux humain.

Il existe trois types anatomiques d'os :

- ❖ Les os longs : tel que l'humérus, le tibia ou le fémur.
- ❖ Les os courts : les os du tarse et du carpe par exemple.
- ❖ Les os plats et irréguliers : comme le sternum, les os du crâne ou l'os iliaque.

Les os sont le résultat d'une association fonctionnelle de différents tissus. Ils se composent de tissus osseux mais également de vaisseaux, de moelle osseuse, de nerfs, de tissus adipeux, de tissus conjonctifs et de cartilages. La moelle osseuse représente à elle seule 60 % des os longs alors que le tissu osseux ne compose que 25 % du volume total.

La perfusion intra-osseuse se fera essentiellement sur des os dits longs ; cependant, quelques os courts ou plats pourront être perfusés.

A. Anatomie des os longs

Les os longs se composent de trois principaux fragments anatomiques :

- ❖ L'épiphyse : c'est le centre d'ossification localisée aux extrémités distales et proximales des os longs. Du cartilage est présent à la surface de la région lisse dite « articulaire » de l'épiphyse afin de permettre le glissement interosseux et les mouvements souples. C'est également un important site d'attache musculaire.

- ❖ La métaphyse : zone évasée comprise entre les épiphyses et la diaphyse, elle incorpore également la zone de la plaque de croissance osseuse.
- ❖ La diaphyse : c'est la partie élancée et compacte, mais la moins épaisse, de l'os qui contient en son centre la cavité médullaire et la moelle osseuse.

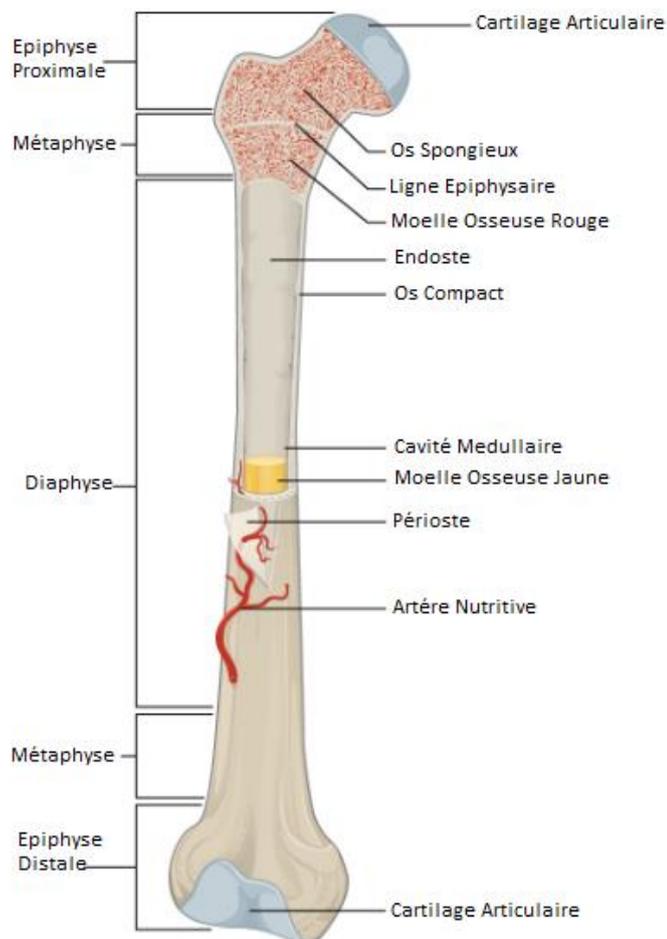


Figure 1 - Schéma anatomique général d'un os long humain

Les os sont composés d'un tissu osseux périphérique compact, dénommé os cortical, et d'un tissu osseux spongieux central. Le périoste est constitué de l'ensemble des couches osseuses périphériques de l'os, en dehors des surfaces articulaires, assurant la croissance en épaisseur de l'os.

1. Le tissu osseux

Le médecin irlandais John Dalrymple fût le premier à examiner du tissu osseux au microscope optique en 1846(2). Ce tissu osseux est un tissu conjonctif dur, spécialisé, vivant et calcifié permettant d'apporter une rigidité au squelette. Le tissu osseux se compose d'une matrice intercellulaire calcifiée, et renforcée par divers minéraux, de fibres de collagène et de cellules conjonctivales définissant le type de tissu osseux rencontré. C'est un tissu vivant, dur mais non figé et en perpétuel renouvellement.

Plusieurs types cellulaires y sont retrouvés :

- ✓ Les ostéoblastes ont une importante activité de synthèse d'ostéoïdes et de minéralisation de la matrice osseuse.
- ✓ Les ostéocytes sont eux issus de la différenciation terminale des ostéoblastes, inclus dans la matrice osseuse minéralisée, et ont un rôle de maintien de l'architecture osseuse et de l'équilibre phosphocalcique. Ils peuvent persister plusieurs dizaines d'années.
- ✓ Le remodelage et la résorption osseuse sont assurés par les ostéoclastes.

a) Le périoste

C'est un tissu conjonctif fibreux blanc avec de multiples couches fortement calcifiées qui possède un rôle capital dans la croissance osseuse, la consolidation du tissu osseux et la guérison des fractures (grâce à sa couche cellulaire interne). Il entoure les os exceptés en regard des zones articulaires. Fortement innervé, il possède un nombre important de nocicepteurs.

Le périoste a un rôle de protection du tissu osseux compact sous-jacent et un rôle d'ancrage des structures vasculaires, nerveuses et ligamentaires. Il est communément admis qu'un os sans périoste ne peut survivre.

b) Le tissu osseux compact

Également appelé os cortical, os lamellaire ou tissu haversien, c'est un tissu osseux dense et uniforme qui forme la corticale périphérique de tous les os du corps et qui entoure l'os spongieux.

Constitué d'ostéons (appelés également systèmes de Havers), ils forment ensemble un système lamellaire osseux cylindrique et vertical avec en son centre un canal de Havers, comprenant lui-même des amas nerveux amyéliniques et un amas vasculaire. Les ostéons se composent de très fines lamelles osseuses de fibres de collagène orientées longitudinalement autour des canaux de Havers. Ces derniers sont reliés entre eux, ainsi qu'avec la cavité médullaire et la surface osseuse périostée, par des canaux horizontaux et obliques dénommés canaux de Volkmann.

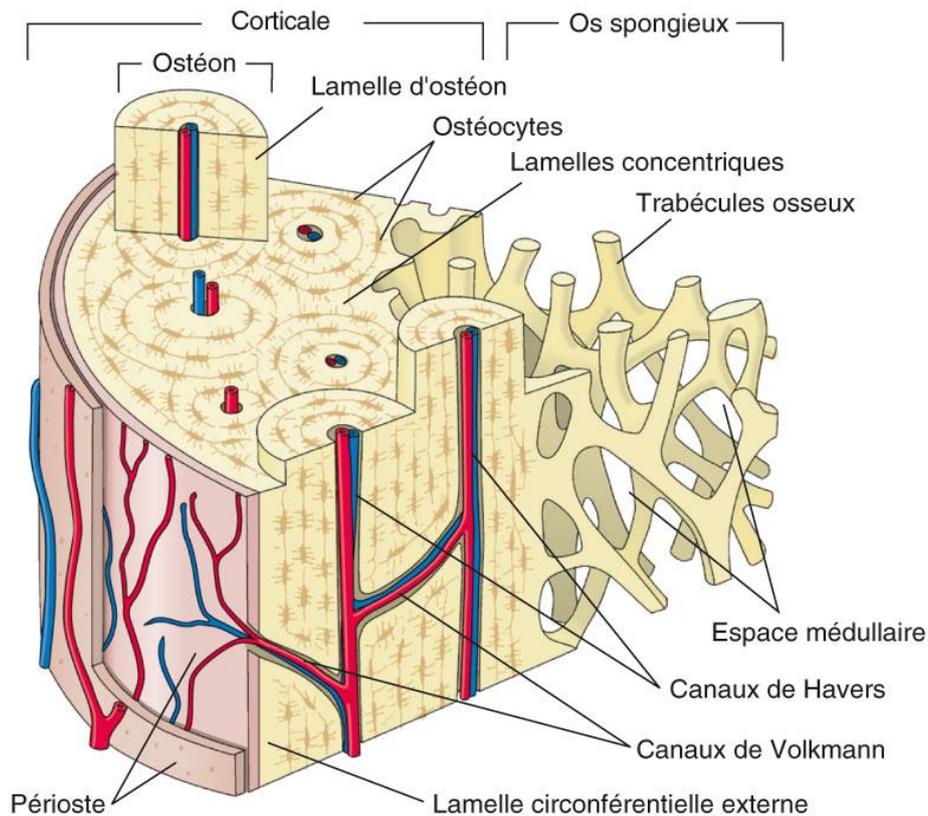


Figure 2 - Schéma anatomique général d'un os lamellaire(3)

Sur la diaphyse des os longs, les systèmes lamellaires s'organisent sur deux niveaux délimitant le système circonférentiel externe et le système circonférentiel interne. L'architecture particulière du tissu osseux compact lui confère une excellente résistance physique.

c) Le tissu osseux spongieux

L'os spongieux, aussi appelé os trabéculaire, est formé de spicules d'os entourant la cavité intra-médullaire contenant elle-même les cellules hématopoïétiques. Présent notamment dans les épiphyses des os longs, mais essentiellement dans les os plats et les os courts, c'est un réseau complexe et ramifié qui délimite des espaces inter-communicants contenant le réseau vasculaire intra-médullaire et la moelle osseuse. De par son architecture de type lamellaire, il enclave la cavité médullaire.

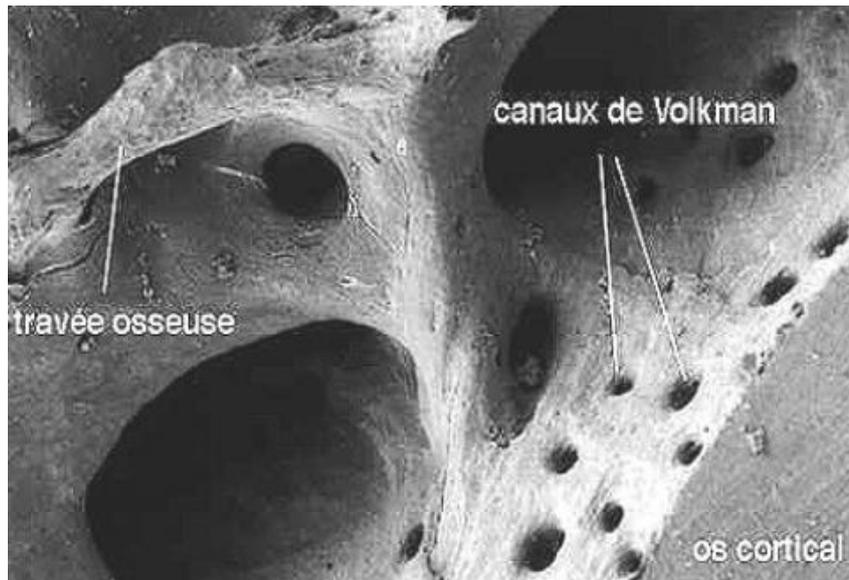


Figure 3 - Jonction entre os trabéculaire (à gauche) et os cortical (à droite) observée au microscope électronique(4)

d) Le réseau vasculaire osseux

Dans une annotation de 1965, le Dr Burkhardt a décrit avec précision la vascularisation intra-osseuse et a souligné son importance dans la physiopathologie humaine(4). Cependant, la vascularisation osseuse demeure moins bien étudiée par rapport aux autres réseaux vasculaires organiques de type cardiaque, cérébral ou rénal.

i. La circulation artérielle

Le sang artériel se propage à travers des artères de moyens calibres, qui pénètrent l'os à travers la corticale osseuse, puis se divisent en artérioles et enfin en capillaires. Les artérioles se composent d'un intima, d'une membrane musculaire avec ses péricytes et d'un adventice. L'adventice des artérioles intra-osseuses est cependant beaucoup plus calcifiée que les autres artérioles du corps humain, ce qui limite les variations de calibre du système circulatoire artériel osseux. Au niveau des capillaires, l'intima et la membrane musculaire sont composés d'un à deux péricytes délimitant le lumen(5).

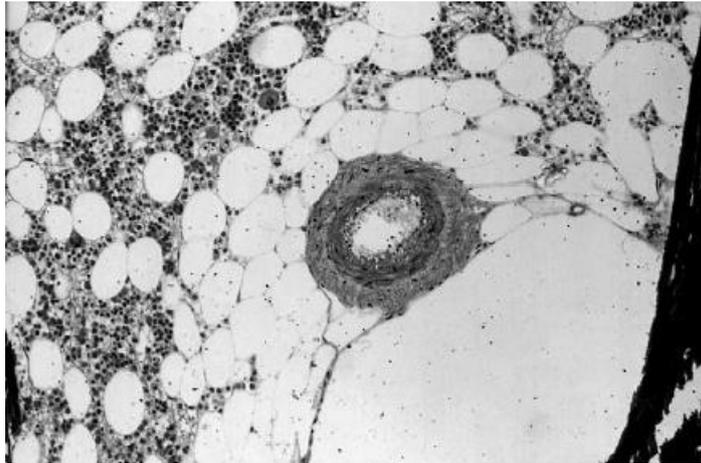


Figure 4 - Artériole intra-osseuse vue au microscope optique : intima au centre, média au milieu et adventice calcifié en périphérie(5)

Le sang artériel pénètre dans les os longs à travers six groupes d'artères interconnectées entre elles grâce à un réseau complexe d'anastomoses :

- Les artères épiphysaires supérieures
- Les artères métaphysaires supérieures
- Les vaisseaux artériels périostés, divisés en deux groupes : supérieur et inférieur. Ils forment un réseau circulaire connecté entre la diaphyse et les métaphyses par des anastomoses.
- Les artères nourricières, appelées également artères diaphysaires, composées d'une à deux artères qui pénètrent la corticale osseuse à travers le foramen nourricier afin de vasculariser environ deux-tiers de la diaphyse à travers les espaces trabéculaires. Ces artères se diviseront ensuite en artères médullaires, puis en artérioles et en capillaires, et circuleront via les canaux de Volkmann et les canaux de Havers afin d'irriguer le cortex osseux compact et l'endoste. Une autre partie de ces artères se divisera en six groupes d'artères médullaires ascendantes et descendantes qui irrigueront les épiphyses distales et proximales puis s'anastomoseront avec les artères métaphysaires et épiphysaires.
- Les artères métaphysaires inférieures
- Les artères épiphysaires inférieures

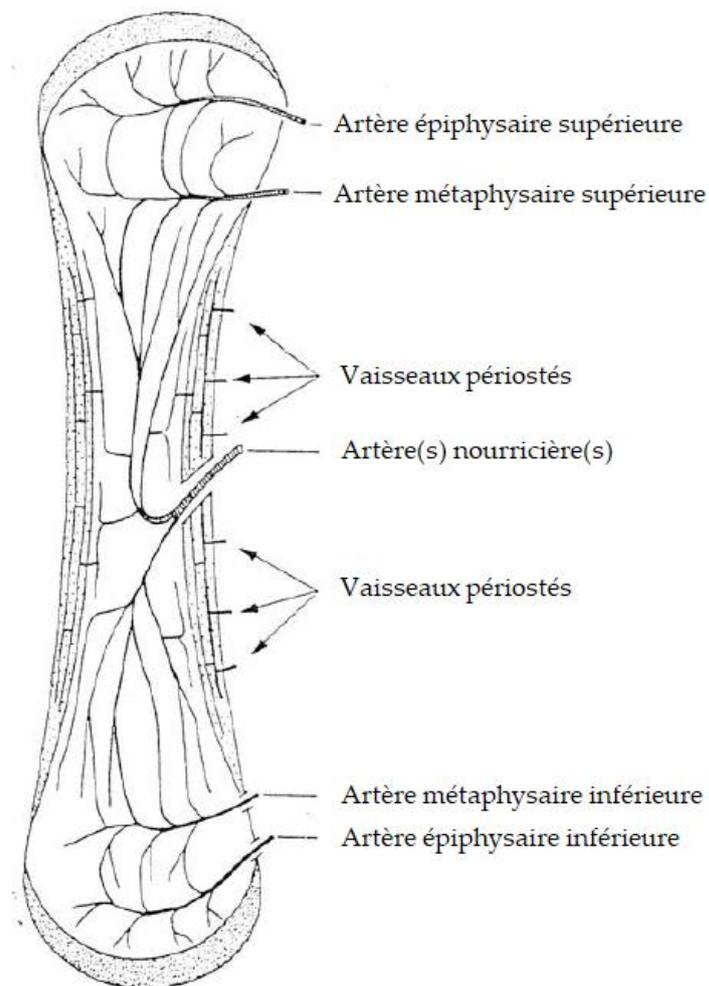


Figure 5 - Schéma du système circulatoire artériel d'un os long

Les artères métaphysaires proviennent des vaisseaux sanguins présents aux alentours tandis que les artères épiphysaires sont issues de la ramification de vaisseaux périarticulaires. L'artère nourricière a une origine systémique. Dans tous les cas, aucun vaisseau n'est omniprésent en regard du plateau de croissance cartilagineux : ce qui explique le double système de vascularisation épiphysaire et diaphysaire afin de permettre la croissance osseuse.

Des capillaires intra-corticaux circulent au niveau central des canaux de Havers et secondairement au niveau des canaux de Volkmann. Les plus gros canaux peuvent se composer d'une artériole et d'une veine, bien que la plupart ne possède qu'un seul capillaire(5). Le réseau vasculaire des ostéons est en constant remodelage.

ii. La circulation veineuse

Un sinus central est localisé au centre de la diaphyse et permet l'écoulement du sang veineux. Ce sinus se compose d'une fine couche endothéliale extensible pouvant répondre aux changements rapides de volumes. Il ne peut également pas se collaber, particulièrement en cas d'hypotensions sévères, sous l'effet de soutien de par l'architecture des travées osseuses.

Le sinus central se draine vers différentes veines évoluant parallèlement aux artères :

- Les veines épiphysaires supérieures
- Les veines métaphysaires supérieures
- Les veines perforantes et la veine nutritive, appelées veines centromédullaires, permettent un drainage rapide efférent d'environ un tiers du sang veineux osseux total. Les veines perforantes traversent le cortex osseux en tous points de la diaphyse vers le tronc veineux le plus proche.
- Les veines métaphysaires inférieures
- Les veines épiphysaires inférieures

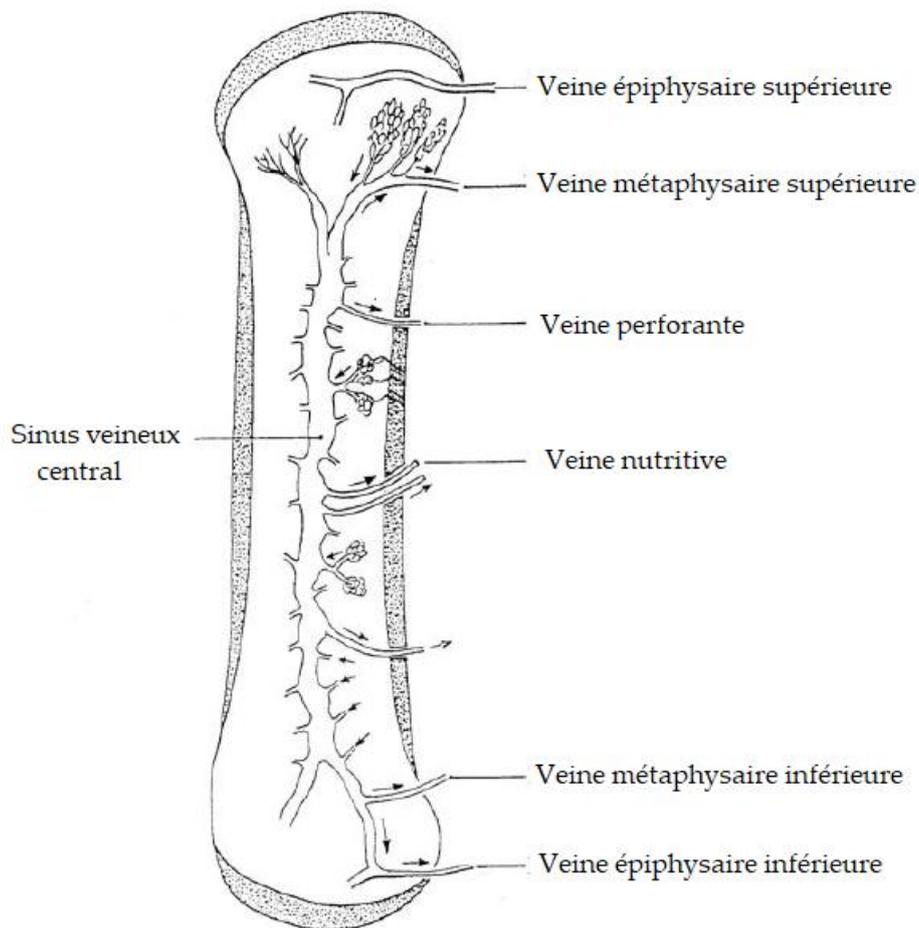


Figure 6 - Schéma du système circulatoire veineux d'un os long

Les veines efférentes corticales et périostées se drainent, hors de la structure osseuse à travers des réseaux sinusoides et hexagonaux, vers le plexus sinusoides périosté qui se poursuit par le canal veineux central afin de rejoindre la circulation systémique par les veines émissaires du périoste ou par la veine nutritive.

Au niveau des épiphyses, de petites veinules quittent l'os par les foramens vasculaires puis s'anastomosent pour rejoindre une veine avoisinante, en général issue d'un drainage veineux musculaire. D'autres veinules, au contraire, s'anastomosent en un sinus veineux au niveau de l'épiphyse qui se draine vers les veines efférentes de l'os.

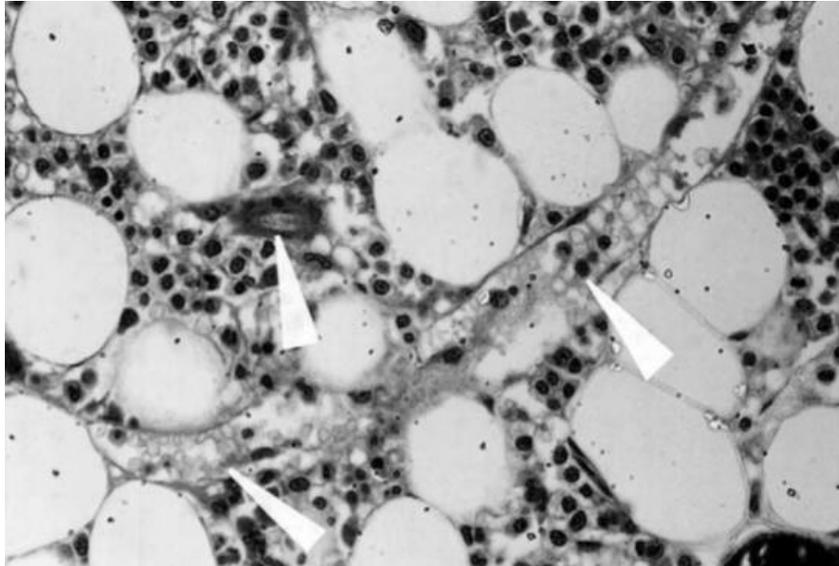


Figure 7 - Observation d'une coupe osseuse : le sinus veineux est indiqué par la flèche supérieure gauche et les capillaires artériels sont indiqués par la flèche de droite (grossissement X 40)(5)

En règle générale, une à deux veines accompagnent parallèlement les artères lors de leur cheminement dans l'os. Le principal avantage anatomique de la cavité médullaire est qu'elle fonctionne comme une veine rigide qui ne peut pas se collaber en cas de choc hypovolémique(6,7).

iii. La pression intra-osseuse

La pression intra-osseuse est constante et avoisine les 35/25 mmHg. Cette pression stable au cours du temps s'explique premièrement du fait que l'os est une cavité fermée et deuxièmement par la non élasticité des veines intra-osseuses. Une variation de la pression intra-osseuse est synonyme de douleurs. Le taux normal de débit vasculaire artériel intra-osseux a été mesuré de 5 à 20 mL/min pour 100 grammes de tissu osseux que cela soit chez l'homme ou chez l'animal(5). Le gradient de pression naturel de la circulation artérielle (environ 120/80 mmHg) vers la cavité médullaire puis la circulation veineuse (environ 6 à 10 mmHg) permet aux substances injectées en IO d'être rapidement disponibles en systémique(8).

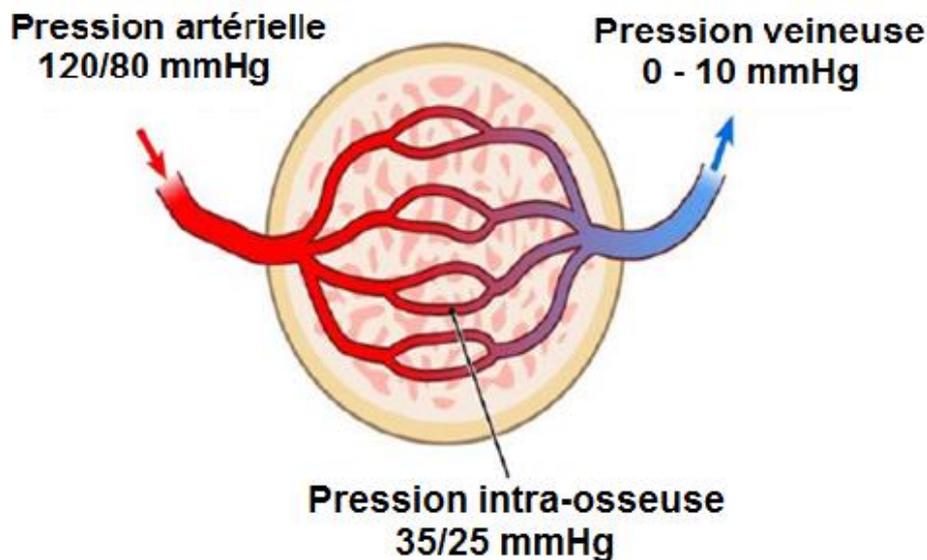


Figure 8 - Schéma de présentation de la pression intra-osseuse

Il n'existe pas de différences de pression IO selon les différents sites intra-osseux possédant une cavité médullaire(5).

e) Innervation

Les fibres nerveuses sympathiques et parasympathiques traversent le périoste et l'os cortical, conjointement avec le réseau artériel et veineux, par amas de fibres nerveuses amyéliniques, puis cheminent à travers les canaux de Havers et de Volkmann jusqu'à atteindre la moelle hématopoïétique. Elles sont d'origine à la fois sensitive et autonome. Le tronc nerveux diaphysaire pénètre quant à lui dans le canal médullaire avec les vaisseaux nourriciers.

L'os possède une innervation sensitive très abondante près de la zone de croissance épiphysaire. Des récepteurs nociceptifs, responsables de la perception de la douleur somatique, sont présents au niveau des vaisseaux et du périoste. Le périoste tibial est le tissu osseux le plus richement innervé.

Une innervation végétative est également présente et est impliquée dans le contrôle du remodelage osseux et d'une partie de la douleur dite organique.

2. La moelle osseuse

La moelle osseuse, localisée dans les cavités médullaires osseuses, permet le développement des cellules sanguines et la vascularisation de l'os.

Elle se compose de deux types de moelle :

- La moelle osseuse rouge : encore appelée tissu myéloïde, elle est la source de l'érythropoïèse. Située dans les cavités intra-médullaires de l'os spongieux, elle permet la production quotidienne d'environ 200 milliards d'érythrocytes, 100 milliards de thrombocytes et de 15 milliards de leucocytes. Les moelles les plus fortement

productrices sont par ordre décroissant : l'ilium, les scapulas, les vertèbres, les côtes, le sternum et le crâne.

- La moelle jaune : elle contient quelques leucocytes mais elle est surtout composée de cellules adipeuses lui conférant sa couleur jaune. Elle se localise principalement au centre de la diaphyse des os longs de l'adulte et devient de la moelle grise avec le vieillissement.

La moelle rouge est lentement et physiologiquement remplacée par la moelle jaune à partir de l'âge de 4 à 7 ans. A cet âge, la moelle rouge est présente dans toutes les cavités médullaires.

Progressivement, les cellules adipeuses commencent à coloniser la moelle et se juxtaposent entre les cellules souches de l'érythropoïèse. Ces cellules adipeuses se regroupent progressivement au fil des années afin de former un tissu adipeux intramédullaire. La moelle rouge est éminemment présente dans les os courts et longs chez les adultes, particulièrement dans les portions proximales des humérus et des fémurs(9). De ce fait le risque d'embolie graisseuse est proportionnellement plus important chez l'adulte que chez les enfants(10).

Il est établi qu'une moelle rouge en forte quantité est garante d'une meilleure perfusion intra-osseuse par rapport à la présence d'une moelle dite jaune(11). En effet, la moelle jaune contient d'avantage de capillaires veineux sinusoides à calibre réduit et tolère donc moins bien les perfusions IO avec de fortes pressions d'injection ou de grosses quantités de produits(12). La moelle osseuse représente environ 3,4 à 5,9 % du poids corporel total(13).

3. Le tissu cartilagineux

Le cartilage articulaire recouvre les extrémités des os longs. Non minéralisé, il est formé de chondrocytes et de matrice extracellulaire qui lui confère des propriétés semi-rigides et semi-élastiques permettant des mouvements osseux facilités.

Selon la richesse de la matrice extracellulaire en fibres élastiques ou de collagènes, on distingue trois catégories de cartilage :

- Le cartilage hyalin : c'est un réseau avec des mailles larges et abondantes de microfibrilles de collagènes.
- Le cartilage élastique : sa forte densité de chondrocytes et de fibres élastiques orientées en réseau tridimensionnel lui confère son élasticité.
- Le cartilage fibreux : composé d'une grande quantité de fibres de collagènes orientées selon les contraintes mécaniques que subissent les tissus.

Le cartilage articulaire n'est malgré tout ni vascularisé, ni innervé. La nutrition du cartilage est assurée par le périchondre grâce à une diffusion des nutriments à travers la matrice extracellulaire.

B. Os courts, plats et irréguliers

Ils sont majoritairement constitués d'os spongieux et de moelle rouge. En effet, au cours de la vieillesse, seuls les os courts, les os plats et les épiphyses des os longs contiendront de la moelle hématopoïétique. Une fine couche d'os compact et de périoste entoure l'os spongieux.

La vascularisation des os courts, plats et irréguliers diffère néanmoins des os longs de par un apport sanguin unique par les vaisseaux périostés(5). Leur réseau de vascularisation est similaire à la circulation des os longs aux niveaux métaphysaires et épiphysaires. Plusieurs réseaux veineux sinusoides supportent le drainage du sang veineux vers les veines corticales à travers les espaces trabéculaires.

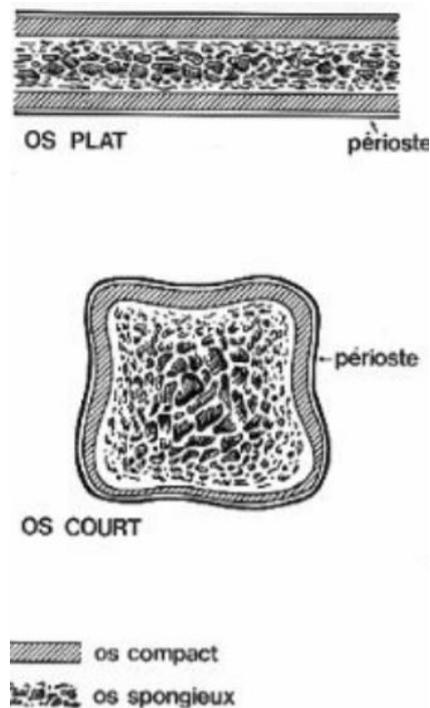


Figure 9 - Schémas anatomiques d'un os plat et d'un os court(4)

C. Fonctions du tissu osseux

Le tissu osseux possède trois grandes fonctions nécessaires à la vie :

- ❖ Une fonction mécanique : le squelette a pour rôle de soutenir le propre poids du corps humain. Son rôle est avant tout structurel dans le cadre du maintien de l'architecture corporelle mais, entre autres, il est la source d'initiations des mouvements de par son rôle d'ancrage du tissu musculaire. Le principe de la construction légère économise la masse et le poids des os via la présence de cavités en son sein. Une de ses fonctions primordiales est également la protection des organes vitaux tels que le cerveau et le système nerveux central.

- ❖ Une fonction hématopoïétique : pour la fabrication durable des lignées érythrocytaires et la production quotidienne de 200 milliards d'érythrocytes.
- ❖ Une fonction métabolique : le remodelage osseux est estimé entre 2 et 3 mois pour un renouvellement complet. Les os sont le support de réserve du métabolisme phosphocalcique, puisqu'ils contiennent 99 % du calcium et 90 % du phosphore corporel total, et du métabolisme érythrocytaire avec les cellules souches hématopoïétiques de la moelle osseuse.

D. Une voie d'accès vasculaire singulière

La perfusion intra-osseuse est une procédure médicale qui consiste à insérer un cathéter dans l'espace intramédullaire osseux afin d'avoir un accès instantané au système vasculaire de l'organisme. Les perfusions IO sont fréquemment utilisées dans les situations préhospitalières tel que le Service d'Aide Médicale Urgente (SAMU) ou le Service Départemental d'Incendie et de Secours(14).

Cet abord présente l'avantage d'être fortement vascularisé puisque le réseau vasculaire de la moelle osseuse est en continuité anatomique avec la circulation veineuse au niveau du canal veineux central. L'accès à cette voie permet donc la perfusion et l'injection de fluides, de médicaments, de produits sanguins labiles et peut également être utilisé pour des prélèvements sanguins d'urgence. Le principal objectif de la perfusion IO est de rendre possible des actes de réanimation afin de restaurer rapidement la perfusion des organes et d'administrer de grandes quantités de solutés(15).

L'utilisation d'un cathéter intraveineux périphérique présente l'inconvénient d'avoir un temps de pose relativement long dans une situation d'urgence vitale. En effet, le temps de pose IV moyen est estimé à 4,4 minutes \pm 2,8 minutes(16). De plus, des veines trop fragiles, étroites ou collabées augmentent ce temps de pose et il en est de même pour les enfants, les patients obèses ou les patients refusant les soins. Les difficultés d'obtention d'une voie veineuse périphérique dans un temps imparti augmentent le nombre de décès des patients(17). Même avec le renfort d'un échographe portable, la pose d'une voie IV chez certains patients demeure toutefois impossible. L'urgence clinique et le temps sont des facteurs décisifs qui excluent l'utilisation de l'imagerie médicale dans la majorité des cas.

Selon l'OMS, environ 17,7 millions de personnes sont décédées en 2015 des suites d'une pathologie cardiovasculaire ; ce qui représente aux alentours de 31 % de la mortalité mondiale. Parmi ces décès, environ 6,7 millions de décès étaient imputables à des arrêts cardiovasculaires. Les facteurs prédisposant à ces pathologies sont un régime alimentaire non adapté, une inactivité physique et la consommation de tabac et d'alcool. En France, 594 000 personnes sont décédées en 2015 dont environ 27,5 % de maladies cardiovasculaires : c'est la deuxième cause de mortalité en France après celle par cancers. Les pathologies cardiovasculaires constituent donc un des principaux problèmes de santé publique(18). Les traumatismes corporels sont responsables chaque année de la mort d'environ 36 000 personnes en France(19).

Le taux de réussite pour une pose de VIO en cas d'un arrêt cardio-respiratoire (ACR) est de 83 %, contre 77 % de réussite pour la pose d'un cathéter veineux central et seulement 17 % pour la pose d'une voie veineuse périphérique(20).

Beaucoup de professionnels de santé s'orientent parfois vers les voies sous-cutanées, intramusculaires ou endotrachéales lorsque la voie IV est inaccessible(21). Bien que d'un accès également rapide, elles ne permettent pas l'administration de grandes quantités de solutés et de médicaments dans un délai court, avec une absorption et une diffusion suffisamment rapide. Par ailleurs, la voie endotrachéale ne peut pas être utilisée pour tous les médicaments et ces derniers sont administrés à des doses beaucoup plus élevées (environ 10 fois la dose normale IV)(22). Quand toutes ces voies d'accès sont inappropriées pour le patient, il ne demeure alors que deux options : la voie veineuse centrale et la voie intra-osseuse(20). Cependant la voie veineuse centrale, dans un contexte d'urgence, augmente les risques de complications infectieuses, hémorragiques et thrombotiques avec une mortalité plus importante de l'ordre de 10 %(23). Par ailleurs, le temps mise en place de cette voie est beaucoup plus long que pour les autres voies afin d'envisager son utilisation universelle.

II. Indications et contre-indications de la perfusion intra-osseuse

A. Les indications d'utilisations de la VIO

Dans certaines situations d'urgence, l'accès au système vasculaire périphérique peut être impossible, ou difficilement accessible de part une vasoconstriction périphérique. Il est alors primordial d'établir un accès veineux le plus rapidement possible afin d'augmenter les chances de survie des patients et de limiter les conséquences dues au manque d'oxygénation tissulaire. D'abord réservée aux patients en ACR, la voie intra-osseuse (VIO) s'est progressivement étendue à d'autres situations d'urgence.

La voie intra-osseuse est indiquée chez l'adulte, suite à au moins deux échecs consécutifs de pose d'une voie veineuse périphérique, dans les cas d'arrêts et d'insuffisances cardio-respiratoires. Chez l'enfant, elle est recommandée en première intention dans le cadre des réanimations cardio-pulmonaires. Par ailleurs, son usage est envisageable pour tout patient en situations d'urgence vitale ou pour lequel il existe une impossibilité de pose d'une voie veineuse périphérique, lorsqu'un temps de pose allongé occasionnerait une perte de chance ou un risque d'infection élevé pour le patient(24).

Cependant, d'autres indications toutes aussi urgentes et fréquentes peuvent justifier l'emploi d'une voie intra-osseuse :

- Arythmies ventriculaires et infarctus du myocarde
- Polytraumatisés et/ou patients incarcérés avec hémodynamique instable
- Etats de chocs septiques, hémorragiques, hypovolémiques ou anaphylactiques
- Brûlures graves et/ou étendues du 2^{ème} et 3^{ème} degré sur plus de 30 % de la surface corporelle
- Crises épileptiques, état de mal épileptique et troubles de la conscience : notamment lorsqu'une intubation trachéale est nécessaire en présence d'un trismus ou de crises convulsives sans abords veineux accessibles
- Hypothermies et/ou noyades (y compris les hypothermies thérapeutiques)
- Déshydratations sévères
- Embolies pulmonaires
- Tentatives d'autolyse, surdosages et overdoses médicamenteuses : les toxicomanes IV développent des scléroses généralisées sur toutes les veines périphériques, ce qui rend l'accès IV encore plus difficile en cas d'urgences vitales
- Patients avec des difficultés de pose d'abord veineux diverses (agité, obèse, âgé, etc...)
- Transfusions sanguines urgentes sans voie IV disponible
- Sepsis (cette indication est pourtant contestée par certains experts)
- Accident vasculaire cérébral
- Niveau de conscience altéré
- Insuffisance rénale terminale
- Coma diabétique acidocétosique et hypoglycémie sévère
- Induction d'une anesthésie à séquence rapide
- Crise drépanocytaire
- Épiglottite
- Obésité morbide
- Toutes blessures de guerre ou résultants de facteurs de risques nucléaires, radiologiques, biologiques ou chimiques

De plus, certaines indications jugées non urgentes peuvent prétendre à l'utilisation d'une VIO :

- Accès vasculaire difficile sans contexte d'urgence vitale
- Analgésie et sédation
- Prélèvements pour analyse biochimique et hématologique
- Réhydratation sans critère d'urgence
- Déclenchement médicamenteux de l'accouchement
- Troubles métaboliques graves
- Antibiothérapie au long cours (cette indication est cependant contestée par certains experts)

Les indications sont donc multiples et polyvalentes que cela soit pour une utilisation dans un contexte d'urgence vitale ou non. A l'origine, la VIO a été développée pour son intérêt d'utilisation sur une courte durée mais ses indications sont en perpétuelles extensions et sa durée de pose est remise en question.

B. Les contre-indications

La voie intra-osseuse est contre-indiquée dans les situations suivantes :

- Fracture de l'os ciblé : en effet, le risque d'extravasation est élevé après une fracture osseuse et expose à de nombreux risques dont la nécrose et l'amputation(21)
- Absences de repères anatomiques adéquats ou excès de tissus cellulaires
- Brûlures sévères et étendues sur le site d'insertion(21)
- Infection aiguë, ou haut risque d'infection, de la zone d'accès et d'insertion(21)
- Pose d'une voie intra-osseuse dans les 48h dernières heures sur le même os
- Présence sur l'os cible d'une prothèse orthopédique, de matériel métallique ou post-opératoire d'une chirurgie dans la zone d'insertion
- Lésion vasculaire apparente ou sous-jacente : risque hémorragique majoré
- Présence d'une tumeur en regard du site d'insertion
- Pathologies hématologiques de type leucémies aiguës ou myélome multiple(25)
- Syndrome des loges actif
- Inexpérience théorique et pratique de l'opérateur
- Antécédents de sternotomie ou épaisseur du manubrium sternal inférieur à 6,5 mm : uniquement valable pour les dispositifs à percussion

D'autres contre-indications relatives sont également évoquées :

- Pathologies osseuses à risque, de type ostéopathie congénitale (ostéogénèse imparfaite)
- Shunt intracardiaque droite-gauche : risque d'embolie graisseuse cérébrale
- Lésions de la veine cave inférieure
- Cellulite

Toutefois, dans les cas d'urgences vitales avérées sans voies d'abord veineux disponibles, le médecin peut décider d'outrepasser ces contre-indications selon la balance bénéfices/risques apportée au patient. Seule la fracture osseuse de l'os cible est une contre-indication absolue.

La voie intra-osseuse est un accès veineux qui permet en moyenne un débit de perfusion important jusqu'à plusieurs litres par heure(26). Cette voie d'abord est toujours temporaire et doit être remplacée le plus rapidement possible par une voie veineuse classique ou une voie sous-cutanée (notamment pour les patients âgés).

III. La petite histoire de la voie intra-osseuse

Contrairement à la première perfusion intraveineuse de solution saline qui a été conçue par O'Shaughnessy et administrée par Latta en 1832(27), la PIO est une découverte récente par rapport à l'histoire de la médecine puisqu'elle n'est apparue que depuis un siècle.

A. Les prémices d'un nouvel abord vasculaire

La première description d'utilisation de la voie intra-osseuse date de 1865, le Dr Dubuisson-Christot décrit alors l'apparition d'effets systémiques après administration intrasternale de cyanure de potassium et de strychnine chez le lapin(28). En 1903, le Dr Wolf décrit le premier prélèvement de moelle osseuse issu d'un tibia et d'un fémur lors d'une opération à corps ouvert(29). La même année, l'italien Pianese obtient un prélèvement de moelle au niveau de l'épiphyse fémorale chez un enfant, avec une simple incision cutanée et un trépan modifié, et diagnostique ainsi un cas de leishmaniose(30).

Cependant l'histoire de cette voie d'accès vasculaire commença véritablement en 1916 avec le médecin américain Cecil Kent Drinker, chercheur à l'université de Pennsylvanie.

Avec l'émergence des premières radiographies médicales, le Dr Drinker s'intéresse progressivement au système osseux, à l'hématopoïèse et à la possibilité de perfuser la cavité interne des os longs. Il décide alors de tenter d'injecter des solutions de Ringer-Lactate® dans le tibia de chiens mais ne parvient cependant pas à savoir si son expérience fonctionne(31). Il renouvelle alors son expérience en injectant des colorants et du mercure radio-opaque dans la moelle osseuse sternale et constate qu'ils sont rapidement diffusés dans la circulation générale. Il démontre alors le lien entre cavité médullaire et le compartiment vasculaire chez les animaux(32).

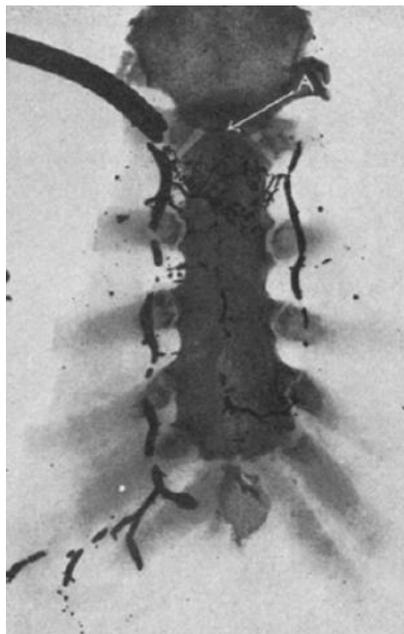


Figure 10 - Radiographie d'une perfusion intra-osseuse sternale de mercure chez le lapin(32) : le système circulatoire et la cavité médullaire sternale deviennent visibles

Dans la lignée de ses recherches, il s'oriente alors vers l'étude du système lymphatique, des mécanismes d'échanges des fluides tissulaires et la circulation sanguine. Six ans plus tard en 1922, il exerce en tant que professeur de physiologie spécialisé en hygiène au sein de l'université de médecine de Harvard et démontre que différents médicaments perfusés dans la moelle osseuse sternale de chats, de chiens et de lapins diffusent rapidement jusque dans la circulation systémique sanguine. Il émet alors l'hypothèse que cette voie pourrait être utilisée pour des transfusions sanguines humaines car la moelle ne se collabe pas lors d'un choc hémorragique(32).



Figure 11 - Photographie du Dr Cecil Kent Drinker en 1935

En 1923, il est par la suite nommé assistant du doyen de la faculté de médecine d'Harvard en partie grâce à ses découvertes. Cette même année, son collègue allemand le docteur Carly Paul Seyfarth réalise la première trépanation sternale mais cet acte est considéré comme chirurgicalement trop lourd et trop long (1 heure) pour le patient par ses confrères(33).

Entre 1927 et 1929, c'est en Union Soviétique que l'hématologue russe Mikhail Arinkin Innokentievich adapte et simplifie la méthode de Seyfarth à partir d'une aiguille courte pour ponction lombaire. Il réalise la première ponction-aspiration de moelle osseuse sternale à visée diagnostique des anémies, agranulocytoses et leucémies(34). Il préconise alors un site d'insertion à mi-distance entre l'angle sternal de Louis et le processus xyphoïde permettant une ponction moins traumatique pour le patient. Il donne alors son nom à ce procédé lui permettant de réaliser ce geste en moins de 20 minutes(35). Avant lui, les seules ponctions de moelle osseuse étaient réalisées à partir de l'extrémité supérieure du tibia avec des résultats parfois difficilement interprétables.



Figure 12 - Photographie du Dr Mikhail Arinkin(36)

Le professeur suédois Arnorld Josefson reprends de 1930 à 1934 la technique d'Arinkin afin d'injecter des préparations totales de foie (appelé campolon) sous anesthésie locale dans le manubrium sternal, qui est la partie la plus large et épaisse du sternum, afin de stimuler la production érythrocytaire. Il entend ainsi traiter les anémies pernicieuses de 50 patients atteints de la maladie de Biermer(37). Tous ses patients présentent alors une augmentation significative de leur nombre érythrocytaire en moins de deux semaines. Par la suite, il parvient à améliorer sa technique et à diminuer le temps du geste à 2 minutes. En 1934, il émet également l'hypothèse d'utiliser le tibia comme site d'injection mais la technique actuelle ne lui convient pas encore pour effectuer ce geste : « J'espère qu'un jour, dans le futur, quelqu'un puisse administrer des médicaments dans un autre os que le sternum à des doses supérieures »(37).

D'autres médecins ont également apporté leurs contributions à la voie IO tels que Bernard, Engelbreth Holm, Roversi, Tantarri, Picena et Olup-Thompsen. Néanmoins peu d'évolutions concrètes dans la technique ou le geste opératoire sont relevées.

B. Les premiers essais sur l'homme

En 1935, le français Jacques Mallarmé met au point le premier dispositif médical (DM) à insertion intra-osseuse dont la vocation est de réaliser conjointement des ponctions et injections intramédullaires(38). L'instrument est en acier réutilisable, composé d'un poinçon cylindrique à bord tranchant monté sur un manche et contenu dans une canule. Il appelle ce dispositif « trocart » car la pointe triangulaire se présente sous la forme de trois arêtes tranchantes et lui donne son nom : le trocart de Mallarmé est né. Les premiers patients sont ponctionnés puis traités avec l'aide de ce dispositif à l'hôpital Beaujon à Clichy.

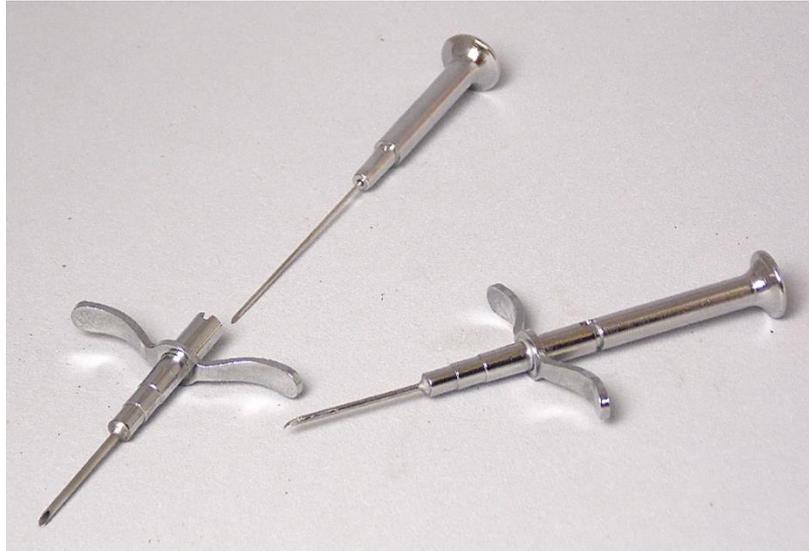


Figure 13 - Photographie de trocarts de Mallarmé datant des années 1930

Le traitement de l'aleucie hémorragique, une anémie sévère avec aplasie, par injection intra-médullaire de goudron est développé en 1936 par Codevelle, Guichene et Bernard et est administré aux patients grâce au trocart de Mallarmé(39). Des injections de produits de contraste, de médicaments et même de bactéries sont effectuées de 1937 à 1940 par le français Benda et son équipe(40,41).

En 1941, dans un monde plongé en pleine seconde guerre mondiale, le Dr Drinker est devenu doyen de la faculté de médecine d'Harvard et apporte sa contribution auprès de ses confrères américains O'Neill et Tocantins. Ces derniers veulent désormais prouver que la moelle osseuse des os longs peut être utilisée comme un site d'accès vasculaire avec un effet systémique : ils injectent alors du colorant rouge Congo dans le tibia d'un lapin et constatent, comme l'avait fait Drinker auparavant dans la cavité médullaire sternale, que celui-ci est retrouvé 10 secondes après dans la circulation sanguine. Ils décident alors d'aller plus loin et d'injecter 5 mL de solution saline dans un tibia proximal mais seulement 2 mL sont retrouvés à l'extrémité distale du tibia. Aucun signe d'infiltration dans les tissus osseux n'ayant été retrouvé, ils concluent donc qu'une partie la solution saline a été transférée vers la circulation systémique(42). Une de leur dernière expérience consista en l'injection de mercure directement dans le sternum d'une patiente qui se retrouva alors presque immédiatement dans la veine mammaire interne et fût visualisé par radiographie.

Une fois leurs tests cliniques achevés, ils décident de traiter quatre patients en état de choc hypovolémique en leur administrant des médicaments, des solutés et des culots globulaires par voie IO sternale et tibiale(42,43). Ils réussirent à soigner leurs patients et furent donc les premiers à avoir utilisé une VIO temporaire pour l'administration de thérapeutiques jusqu'à ce que l'accès IV soit de nouveau possible.

Les premières perfusions intra-osseuses de masse chez l'homme sont expérimentées lors de prises en charge hospitalières de soldats victimes d'état de choc hémorragique ou de brûlures étendues (un peu plus de 4000 soldats alliés seront traités par cette méthode lors de la seconde guerre mondiale)(44). A cette époque, la voie intraveineuse commençait à être utilisée sur le champ de bataille et consistait en l'insertion d'un trocart métallique au niveau de

grosses veines périphériques, surtout brachiales, avec un risque d'infection à posteriori non négligeable.

Hamilton Bailey, chirurgien émérite anglais, développa alors un trocart spécifique à partir du trocart de Witts empêchant la pénétration post-sternale médiastinale, grâce à une garde modifiée, et donc de potentielles lésions cardiaques. Plusieurs centaines de soldats et civils blessés furent perfusés pendant la guerre à Londres grâce à son trocart. Il a par ailleurs écrit ces mots : « Le grand avantage de l'injection sternale est qu'elle peut être réalisée dans l'obscurité. C'est une considération très importante lors des blackouts causés par le blitz allemand »(45).



Figure 14 - Photographie du Dr Henry Hamilton Bailey

A la suite de ces essais, un kit de perfusion par voie sternale a été incorporé aux stocks d'urgences de la marine américaine(46). Le premier cas de réanimation réussie, hors structure hospitalière, fût un pilote américain de bombardier B-29 gravement blessé lors du survol du Japon en mars 1944. Il souffrait d'une hémorragie importante quand un infirmier de combat a réussi à lui administrer du plasma en intra-sternal(47).

En 1942, le Dr Papper démontre que le temps de diffusion systémique des produits administrés par perfusions intraveineuses (dans la veine antécubitale) et intra-osseuses est similaire(48). Il fût également le premier à injecter du penthotal de sodium, un médicament anesthésique, en IO et déclara alors : « il est possible d'administrer des médicaments anesthésiques à des doses thérapeutiques directement dans la moelle sternale afin d'induire une anesthésie et cela sans manifestations de surdosages ». Un an plus tard, le Dr Match confirme les observations de Papper en injectant de l'épinéphrine par voie IO et IV(49).

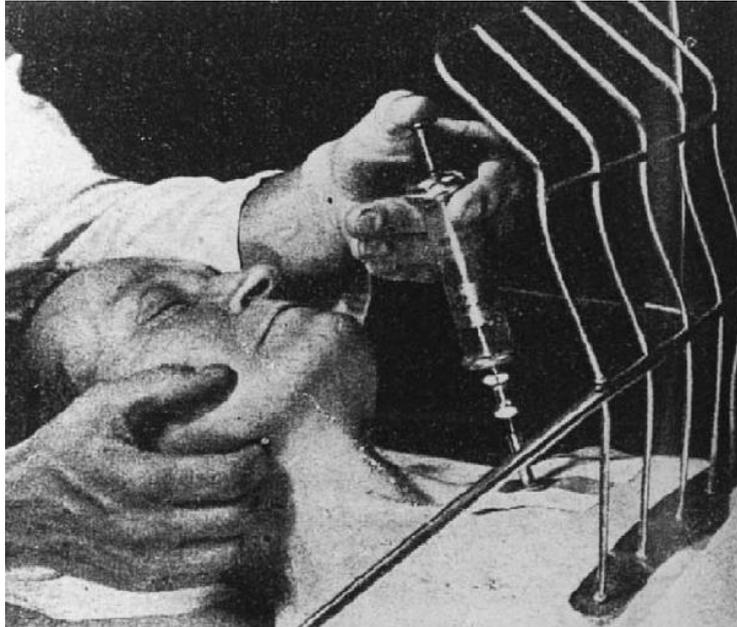


Figure 15 - Photographie d'une induction d'anesthésie générale par administration sternale de barbituriques(50)

Pendant cette même période à Leipzig en Allemagne, l'interniste Heinrich perfuse avec succès un patient en arrêt cardio-respiratoire avec de la strophantine, un cardiotonique, par voie sternale dans le but d'effectuer une transfusion sanguine(51).

Il faudra attendre 1943 pour que la première anesthésie complète par injection intrasternale d'hexobarbital, un barbiturique à courte durée d'action, soit réalisée par le chirurgien Herbert Junghanns à Francfort(52,53). Les barbituriques IO furent beaucoup utilisés notamment pour les patients en état de choc, cachectique, en inanition, en émaciation ou gravement brûlés(50).



Figure 16 - Photographie d'une ampoule d'Evipan® (hexobarbital) produit par Bayer™ dans les années 1933(54)

Dès 1944, la voie intra-osseuse sternale est remise en question au profit de la voie IO tibiale qui serait plus sûre avec un débit plus important chez les adultes et chez les enfants(55,56). Néanmoins, la voie IO sternale reste toujours privilégiée à la voie périphérique intraveineuse notamment pour les militaires(8). Le Dr Elston est le premier à utiliser cette voie chez le nourrisson(57).

En 1945, l'interniste bavarois Robert Henning utilise la voie IO sternale pour transfuser un patient atteint de granulocytopenie(58). Auparavant en 1940, ce dernier affirmait son intérêt pour la transfusion IO lors d'un congrès de la société allemande de médecine interne : « J'aimerais souligner que les transfusions sternales sont plus simples à réalisées, en temps de guerre et dans des circonstances particulières, que des injections intraveineuses ! La procédure n'est pas très compliquée. De plus, je crois que les ponctions et transfusions sternales peuvent être recommandées lorsqu'une ponction intraveineuse n'est pas réalisable » (59).

Ce dernier et son collègue américain Tocantins démontrent que les substances perfusées par VIO ne s'accumulent pas dans la moelle osseuse et qu'elles diffusent jusqu'à la circulation générale sans être modifiées(42,58). En parallèle, Van den Berghe et Blitstein sont les premiers à ponctionner la crête iliaque pour prélever de la moelle osseuse(60) ainsi que Heidenreich au niveau du processus épineux vertébral(61).

C. Une technique délaissée puis redécouverte

La perfusion IO devient moins populaire dans l'après-guerre avec l'émergence des premiers cathéters plastiques à usage unique pour voie intraveineuse qui peuvent notamment être laissés en place plus longtemps qu'une aiguille intra-osseuse métallique(47). En effet, l'industrie chimique développa de nombreux composés et matériaux à la fin de la seconde guerre mondiale. La validation microbiologique des procédures de stérilisation de ces nouveaux polymères plastiques permit, de ce fait, une utilisation plus active des procédures médicales invasives. Jusqu'aux années 1960, la majorité des sets IV était toujours composée d'aiguilles en métal réutilisables.

Par ailleurs, la publication de plusieurs effets indésirables imputables à la VIO découragèrent son utilisation: ostéomyélites, extravasations sous-cutanées, nécroses cutanées(62).

En 1947, Heinild et Antonin traitent avec succès quelques patients pour des thromboses périphériques en injectant de l'héparine(63) par VIO.

En 1948, le médecin soviétique Leontev publie un article sur quelques médicaments administrés dans la moelle osseuse sternale(64).

En 1949, Evans démontre qu'une asepsie stricte doit être appliquée pendant ce geste afin de limiter les complications à distance(65) puis le chirurgien allemand Wener Lamprecht développe une série d'instruments dédiés au trocardage sternal atraumatique et à la perfusion sternale, dont notamment un adaptateur spécifique pour faciliter la connexion avec une ligne de perfusion(66).



Figure 17 - Photographie d'une transfusion d'un culot globulaire sanguin par voie sternale grâce à une pompe à pistons en 1949(50)

L'interne anesthésiste David Massa inventa en 1950 le premier cathéter IV à partir de deux aiguilles métalliques de 16 G et de 19 G sertie d'une canule en polychlorure de vinyle(67). Progressivement, les cathéters IV et les cathéters sous-cutanés en plastique s'imposent dans le monde médical de par leur sûreté, leur simplicité et un risque d'infections diminué. L'autre cause majeure de l'abandon de cette technique fût le manque primaire de médecins et d'infirmiers civils après la fin de la seconde guerre mondiale(14). La voie IO est cependant toujours utilisée en phlébographie des membres inférieurs et du pelvis dans un cadre diagnostique, pour le personnel militaire et dans quelques cas pédiatriques.

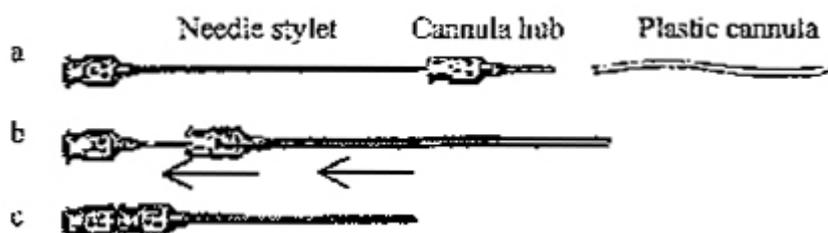


Figure 18 - Schéma de l'assemblage du cathéter plastique de Massa-Rochester(67)

En 1951, Simon Propp améliore la technique d'Arinkin afin de pouvoir effectuer des aspirations iliaques, vertébrales et tibiales(68). L'année suivante, Bierman proclame que la crête iliaque postérieure est le site de prélèvement le plus sûr et le mieux toléré(69). Valdés réutilise en 1977 la voie intra-sternale sur 15 patients en réanimation pour lesquels la pose d'une voie intraveineuse était impossible. Il utilise pour cela un trocart manuel de 14 G placé au niveau tibial et perfuse du glucose, de l'atropine, de la dexaméthasone, du diazoxide, du soluté de Ringer Lactate® et des culots globulaires(70). Les premières données de pharmacocinétiques et de débits de perfusions de la VIO sont publiées en 1979 par le Dr Shoor(6).

Pourtant c'est l'année 1984 qui marque le grand retour de la voie intra-osseuse dans la communauté médicale quand le pédiatre américain James Orłowski utilise la VIO pour réhydrater des enfants atteints de choléra et de déshydratation aigue sévère en Inde(71). Il développera par la suite cette utilisation en se focalisant sur la prise en charge pédiatrique.

Deux années plus tard, l'American Heart Association (AHA) recommande l'utilisation de la perfusion IO comme alternative à la voie intraveineuse périphérique chez les enfants admis en réanimation pédiatrique suite à des traumatismes graves dès lors que des difficultés d'accès vasculaires temporaires sont présentes(71,72). En 1987, les recommandations évoluent et prennent en compte les ACR chez les enfants de moins de 6 ans(73).

Aux débuts des années 1990, la résurgence de la perfusion IO chez l'adulte dans les soins préhospitaliers se confirme(74). L'accès intra-osseux pédiatrique est conseillé après 90 secondes de tentatives d'accès intraveineux sans succès(75). Les premiers dispositifs médicaux semi-automatiques sont développés afin de faciliter la pose, raccourcir le délai de la mise en place et le délai de la prise en charge des patients adultes et pédiatriques(74).

En France, la technique a été introduite plus tardivement en 1994 notamment par le Dr Oriot(76).

D. Modernisation et expansion de la VIO

Il faut cependant attendre l'année 2000 afin que l'AHA reconnaisse l'utilisation possible de la perfusion intra-osseuse en 1^{ère} intention chez tous les enfants en ACR sans distinction d'âge(77). Le premier dispositif motorisé IO sort sur le marché en 2004 sous l'égide du laboratoire Vidacare Corporation™ et l'aval de la Food and Drug Administration (FDA) américaine.

En 2005, l'European Resuscitation Council, la Pediatric Advanced Life Support, l'Advanced Cardiac Life Support et l'AHA approuvent l'utilisation de la voie intra-osseuse comme première alternative après échec de pose d'une voie d'abord veineuse périphérique chez l'adulte et l'enfant dans les situations d'arrêts cardio-respiratoires(78–80). Cependant, seul l'European Resuscitation Council émet une condition d'échecs de trois tentatives intraveineuses avant toute tentative de VIO(81,82).

En 2007, la National Aeronautics and Space Administration (NASA) teste et évalue la possibilité d'utiliser la voie intra-osseuse pour des injections médicamenteuses dans un environnement en microgravité(83). En effet, les tentatives de pose de voie veineuse en microgravité prenaient entre 10 et 12 minutes via la veine antécubitale et sans supervision médicale.

Depuis 2012, le groupe médical opérationnel de la NASA a sélectionné, validé et intégré un dispositif de perfusion IO à insertion manuelle dans le kit médical de secours de l'International Space Station (ISS) et pour toutes les futures missions spatiales américaines(84). Un dispositif avec percussion, ou un dispositif motorisé, étant plus difficile et à risques d'utilisation dans un environnement d'impesanteur totale. Les astronautes sont maintenant formés lors de leur entraînement avec ce dispositif, sur des mannequins de simulation en santé et en vols suborbitaux, avant toutes missions spatiales de longues durées(85).



Figure 19 - Photographie de l'évaluation du dispositif médical EZ-IO® en 2007 lors d'un vol suborbital en microgravité de la NASA(86)

L'International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) de 2010 préconise l'utilisation de la VIO chez l'adulte en deuxième position après 2 minutes d'échec de pose d'une VVP dans le cadre d'un ACR. Pour les enfants et les nouveau-nés, l'utilisation de la VIO est portée en première intention comme site d'accès vasculaire des ACR en situation hospitalière et préhospitalière(79,80,87). Cependant, dans les autres situations d'urgence pédiatrique, la VIO est recommandée en deuxième position après 1 minute d'échec de pose d'une VVP.

L'utilisation de la perfusion intra-osseuse se développe également du côté militaire ou un regain d'intérêt de l'utilisation de la voie intra-sternale est visible(44,88,89) : de nouveaux dispositifs médicaux à percussion et à moteur sont développés.

III. Les dispositifs médicaux de l'abord vasculaire intra-osseux

Les dispositifs médicaux de la VIO sont généralement mis en place aux extrémités distales et proximales des os longs notamment au niveau des épiphyses car l'os compact y est moins épais et à contrario l'os spongieux y est abondant.

Tout d'abord, il faut revenir sur quelques définitions essentielles :

- Les dispositifs médicaux : selon l'article L.5211-1 du Code de la Santé Publique, un dispositif médical est défini comme « tout instrument, appareil, équipement, logiciel, ou matière, utilisé seul ou en association, y compris les accessoires et logiciels nécessaires au bon fonctionnement de celui-ci, destiné par le fabricant à être utilisé chez l'homme à des fins médicales et dont l'action principale voulue n'est pas obtenue par des moyens pharmacologiques ou immunologiques ni par métabolisme, mais dont la fonction peut être assistée par de tels moyens ».
- Une aiguille : c'est une tige métallique creuse avec une pointe aiguisée en une seule pièce. Elle permet des ponctions par aspiration ou des injections par pression positive.
- Une biopsie : prélèvement d'un échantillon anatomique en vue d'une analyse histologique ou anatomo-pathologique.
- Une canule : petit tube permettant le passage de l'air ou d'un liquide à travers un orifice naturel ou obtenu après une intervention médicale.
- Une gauge : unité de mesure anglo-saxonne qui caractérise le diamètre externe d'un dispositif médical. La gauge correspond au nombre de dispositifs médicaux de mêmes calibres pouvant être contenus dans un pouce carré (unité de surface anglaise). Plus la gauge est élevée et plus le diamètre est faible.
- Une ponction : prélèvement d'un liquide dans un but évacuateur ou d'analyses biologiques.
- Un trocart : instrument médical permettant de pratiquer des biopsies, des ponctions, des injections ou des paracentèses. Il se compose d'une tige métallique creuse et cylindrique avec une pointe triangulaire acérée et coulissant à l'intérieur d'une canule. A la différence de l'aiguille, la canule ne laisse émerger que la pointe du trocart. Il comprend parfois un mandrin obturateur.

A. Dispositifs anciennement utilisés ou abandonnés

1. Les trocarts manuels au début du XX^{ème} siècle

La plupart des aiguilles et trocarts du début du XX^{ème} siècle étaient en acier inoxydable et réutilisés après un bain d'eau bouillante ou une stérilisation à la vapeur d'eau. Ces dispositifs nécessitaient d'être fréquemment affutés à l'aide d'une meule et d'une tige froide ; cela était pratiqué dans les salles stériles des hôpitaux en préinterventionnel. Composés pour la plupart de différents systèmes de gardes ou d'arrêtors, ils n'ont que peu évolués dans leur structure et leur design.

Historiquement, l'insertion sternale est la voie d'accès intra-osseuse la plus utilisée à cette époque. Sa mise en place s'accompagne souvent de l'utilisation d'un marteau orthopédique chez les adultes afin de faciliter la pénétration à travers la corticale osseuse. En effet, les adultes possèdent une corticale osseuse épaisse et résistante. Au contraire, les patients âgés ont une épaisseur corticale fine et fragile notamment à cause de l'ostéoporose. Pour les enfants, la faible épaisseur du cortex osseux nécessite des précautions particulièrement élevées. Ainsi en pédiatrie, les trocarts sont donc insérés essentiellement avec la paume de la main avec un contrôle de la pression appliquée.

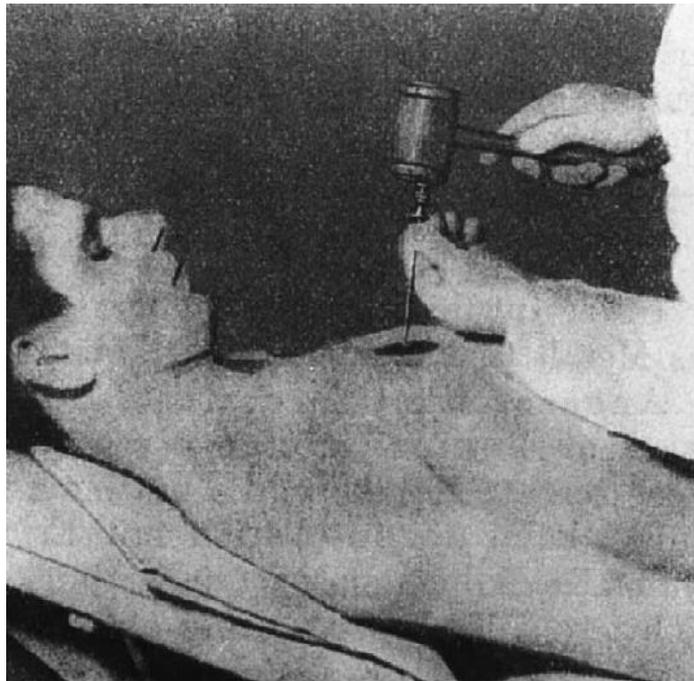


Figure 20 - Photographie de l'insertion d'une aiguille au marteau dans le sternum(50)

a) Aiguille de Seyfarth(90)

Il s'agit véritablement de la première aiguille intra-osseuse commercialisée. Elle est développée en 1923 par le Dr Carly Paul Seyfarth(90) dans le but de pratiquer des biopsies et des ponctions sternales ouvertes entre le 3^{ème} et le 4^{ème} espace intercostal. Il s'agit d'un dispositif mixte entre une aiguille et un trépan chirurgical.

b) Trocart de Josefson-Arinkin(37)

Mis au point en 1934, ce dispositif est un trocart de 14 G sur lequel est fixé un cône métallique coulissant servant d'appui sternal. Il permet une meilleure préhension, un positionnement plus sûr et une sécurisation du geste par l'intervenant. Deux tailles étaient commercialisées : un trocart pédiatrique et un trocart destiné aux adultes.

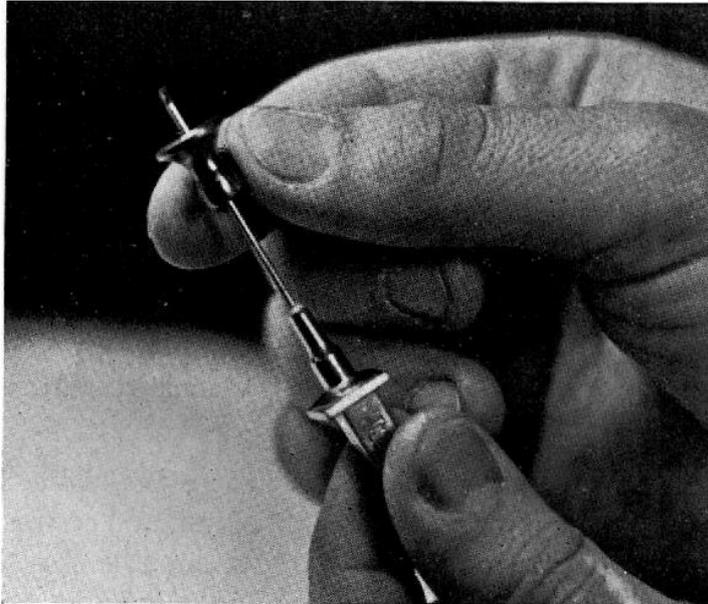


Figure 21 - Photographie d'un trocart pédiatrique de Josefson-Arinkin(37)

c) Trocart de Witts

Ce trocart est apparu dans le début des années 1930 et était utilisé pour les ponctions sternales et les ponctions lombaires. La garde peut être ajustée afin de définir la profondeur de la ponction et le mandrin est retiré une fois la cavité médullaire atteinte. La forme de la partie proximale du trocart permet un maintien par l'index et le majeur. Le pouce sécurise la préhension au niveau du mandrin avec son extrémité légèrement concave.



Figure 22 - Schéma d'un trocart de Witts

d) Trocart de Salah

Elaboré dans le début des années 1930, ce trocart permettait l'aspiration de moelle osseuse sternale mais certaines sources relatent son utilisation en pédiatrie pour des aspirations tibiales et sur les crêtes iliaques(39). D'une même conception que le trocart de Witts, seule la forme de la garde réglable diffère légèrement. Son principal défaut est son poids élevé qui était souvent responsable de déperfusion surtout chez les jeunes enfants(91). Ce dispositif est encore commercialisé dans certains pays en voies de développement en 16 G (adulte) et 18 G (enfant) pour une longueur de 5 cm.



Figure 23 - Photographie d'un trocart de Salah des années 1940

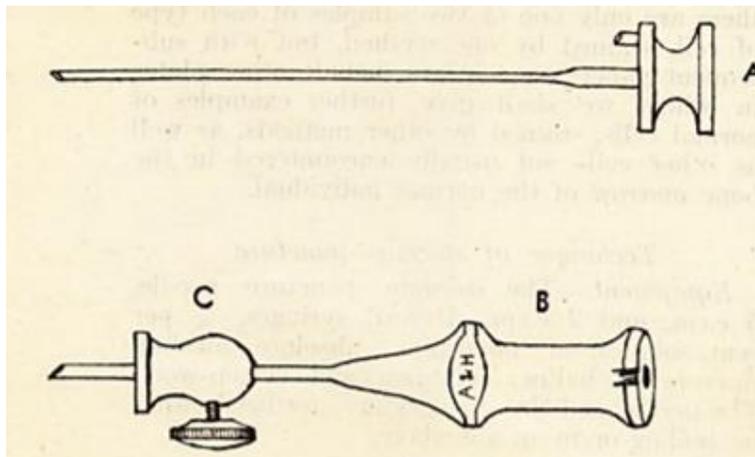


Figure 24 - Schéma d'un trocart de Salah : (A) Trocart-Mandrin, (B) Corps, (C) Garde réglable

e) Trocart de Henning et Korth(59)

En 1934, les allemands Henning et Korth suggèrent l'utilisation d'un trocart avec une ouverture latérale afin de permettre une meilleure irrigation de la cavité médullaire et diminuer les risques d'obstructions osseuses. Ils préconisent également d'injecter 1 mL d'héparine via le trocart afin de récolter d'avantage de moelle osseuse(59).

f) Aiguille de Klima avec modification de Leitner

C'est une aiguille simple, robuste en acier, qui se fixe sur une poignée avec mandrin. Développée en 1935 pour les ponctions et les biopsies sternales, elle n'a que peu été utilisée en clinique. En effet, le mandrin non dissociable de la poignée était une gêne notoire.



Figure 25 - Photographie d'une poignée avec mandrin fixe et son aiguille de Klima

g) Trocart de Klima-Rosegger(92,93)

Entre 1935 et 1938, le trocart de Klima-Rosegger en 16 G est développé uniquement pour l'aspiration de moelle osseuse sternale dans le but de sécuriser le geste de ponction.

Il fût abandonné car imprécis et de mauvaise qualité. L'emboîtement incomplet, ou trop difficile, entre le trocart et sa canule ainsi que de multiples obturations du trocart, ou des casses de ce dernier, ont conduit à son abandon prématuré. Nous savons aujourd'hui que les matériaux utilisés pour sa conception étaient de mauvaise qualité ; probablement due aux restrictions de fabrication et d'approvisionnement en acier de bonne qualité juste avant le début de la seconde guerre mondiale en Allemagne.



Figure 26 - Photographie d'un trocart de Klima-Rosegger

h) L'aiguille-trocart de Silverman(94)

A mi-chemin entre une aiguille et un trocart, ce dispositif a été commercialisé en 1938 avec pour indications les biopsies de moelle osseuse sternale et iliaque ainsi que les biopsies hépatiques et tumorales diverses.

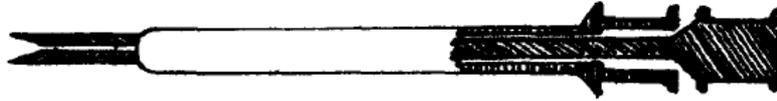


Figure 27 - Schéma de l'aiguille-trocart de Silverman, composé d'un mandrin obturateur, d'une canule de 16 G et d'une aiguille fendue de 18 G

Il fût amélioré en 1954 par Vim & Silverman(95) en renforçant l'ancrage de l'aiguille dans la canule et par l'ajout d'une garde ajustable fixée de l'obturateur à l'extrémité du trocart permettant une stabilisation entière du dispositif. Sa production était assurée par l'entreprise MacGregor Instrument Company™.

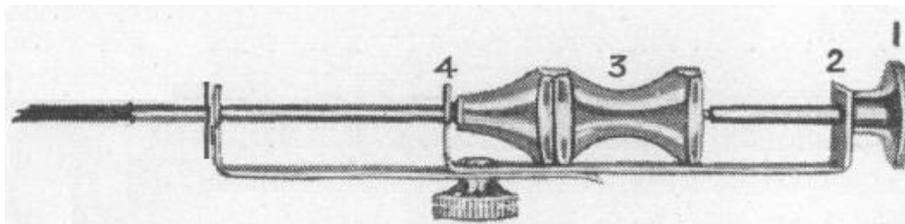


Figure 28 - Schéma de l'aiguille-trocart modifié de Vim & Silverman

i) Trocart d'Osgood(96)

Sorti en 1939 et indiqué pour les biopsies ou transfusions sternales, il est pourvu d'une connectique Luer-Lock®. Son usage a complètement disparu en France mais il est encore partiellement utilisé dans les pays en voies de développement où il est disponible en 16 G, 18 G et 19 G avec deux longueurs différentes : 3,5 cm et 5 cm.

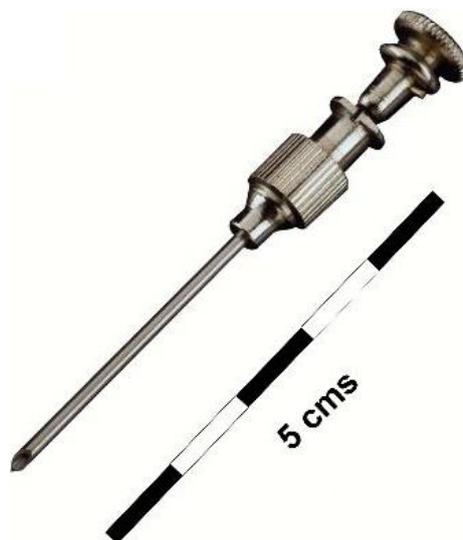


Figure 29 - Photographie d'un trocart d'Osgood

j) Trocart de Tocantins(48)

Commercialisé en 1940 par George Pilling & Sons™, le trocart court de Tocantins possède une garde ronde réglable pour adapter la longueur de l'aiguille selon la corpulence du patient.

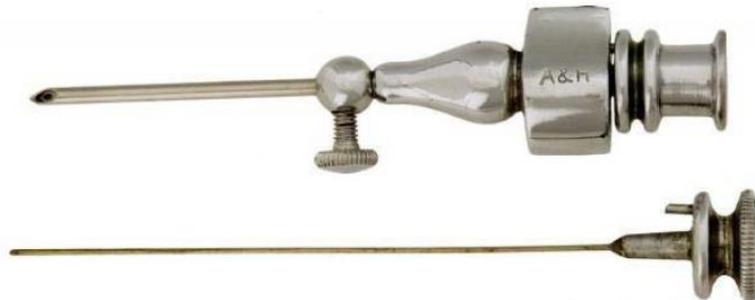


Figure 30 - Photographie d'un trocart de Tocantins

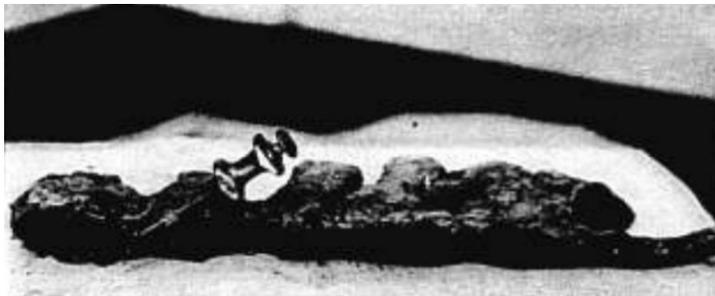


Figure 31 - Photographie d'une coupe sagittale d'un sternum adulte avec une variante du trocart de Tocantins positionné(48)

k) Trocart de Turkel et Bethell(97)

La forme originale du trocart de Turkel et Bethell provient des trépan chirurgicaux. Grâce à son extrémité très tranchante, il n'est plus nécessaire de devoir préinciser la peau avant le trocardage. Développé à l'origine pour une utilisation intra-osseuse sternale, tibiale et fémorale, il trouva plus tard son utilité dans la décompression thoracique par thoracentèse et la paracentèse. Il fût mis sur le marché en 1943.



Figure 32 - Photographie d'un trocart de Turkel et Bethell

l) Aiguille de Bailey(98)

Inspirée du trocart de Witts, c'est une aiguille intra-osseuse montée sur un manche métallique. Commercialisée en Angleterre par Whilen Brothers™ en 1944, elle est composée d'une garde avec deux ailettes et d'une pointe relativement émoussée. La garde en forme d'ailettes permet d'empêcher physiquement la transfixion du médiastin et limite la profondeur de pénétration.

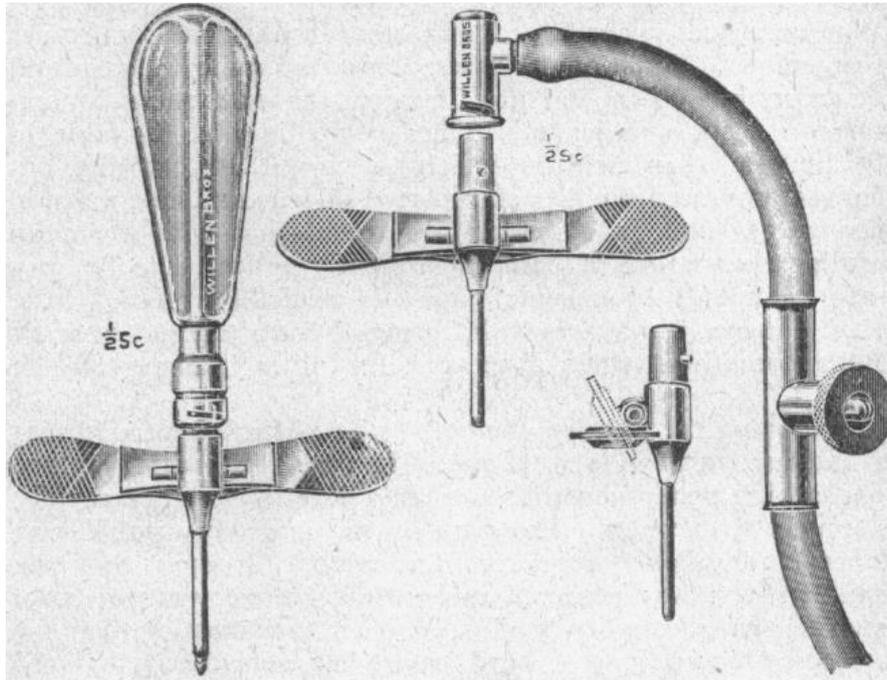


Figure 33 - Schéma d'une aiguille de Bailey

m) Trocart de Gimson(99)

Conçu par Allen & Hanburys™ à Londres en 1944 à la demande du pédiatre Janet Gimson, c'est le premier dispositif médical spécifiquement dédié à une utilisation sur la voie tibiale proximale des enfants et nourrissons. A l'époque, trois tailles étaient disponibles : 16 G, 17 G et 18 G avec 4 longueurs différentes. La poignée est celle de Bailey avec une modification permettant la fixation des trocarts par vissage latéral.

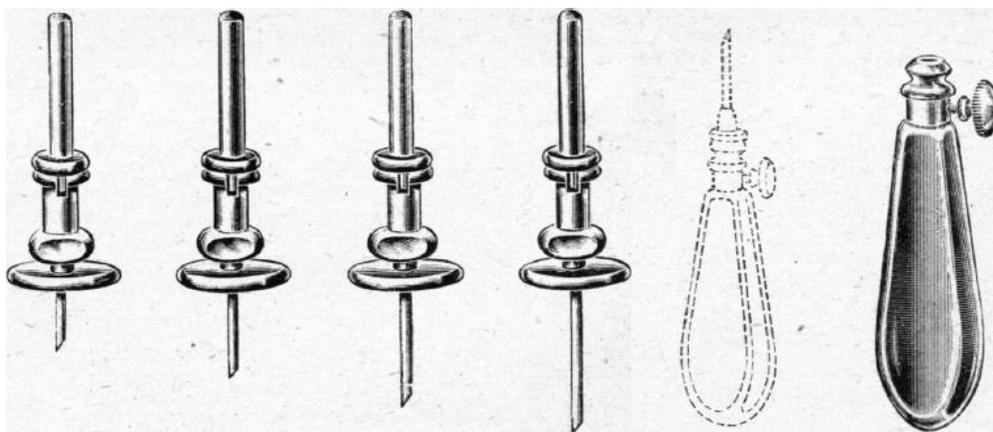


Figure 34 - Schémas des différentes tailles de trocarts de Gimson et de la poignée universelle

n) Aiguille de Reddy(29)

Le Dr Reddy développe en 1945 en Inde une aiguille semblable à l'aiguille de Klima, montée sur une poignée. D'une conception simple et polyvalente, elle servait au prélèvement de moelle osseuse sternale à visée diagnostique par dénombrement parasitologique des patients avec leishmaniose viscérale (kala azar). L'insertion se faisait entre le 3^{ème} et 4^{ème} espace intercostal.

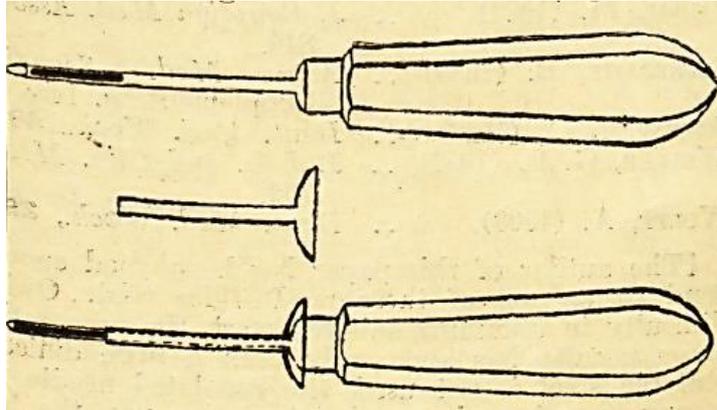


Figure 35 - Schéma d'une aiguille de Reddy en 1945, Inde

o) Trocart de Waterfield(100)

C'est un dispositif médical spécialisé dans l'aspiration de la moelle osseuse au niveau de la crête iliaque et datant de 1946 en Angleterre. La profondeur est ajustable par rotation de la garde, faisant corps avec la canule, et permet ainsi d'éviter les transfixions directes du manubrium sternal. La poignée et son mandrin ne sont pas séparables.



Figure 36 - Photographie d'un trocart de Waterfield

p) Trocart de Limarzi(101)

C'est une modification du trocart de Klima-Rosegger faite en 1948 pour l'aspiration et les injections intra-osseuses. La canule est plus large avec une meilleure prise en main. Un nouvel acier dit « performant » est utilisé. Cependant l'atout majeur reste la présence d'une connectique Luër-Lock® sur l'extrémité proximale facilitant et sécurisant la connexion avec les seringues. Son utilisation fût multiple pour des ponctions vertébrales, fémorales, tibiales et des injections sternales.

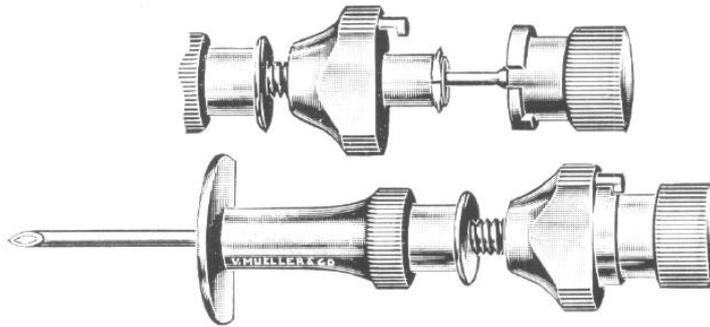


Figure 37 - Schéma d'un trocart de Limarzi en 1948

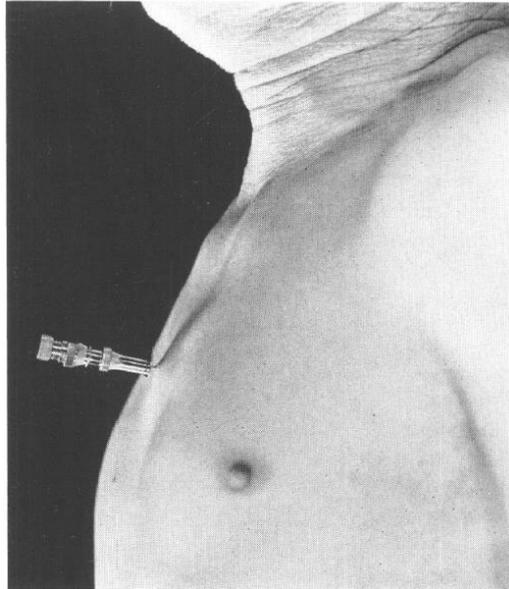


Figure 38 - Photographie du positionnement du trocart de Limarzi au niveau du 2ème espace intercostal. Le trocart est positionné à la perpendiculaire du sternum.

q) Autres trocarts

Beaucoup d'autres trocarts sont répertoriés avec des modifications propres à leurs créateurs : Arjeff(102) (1931), Baserga(103) (1934), Weller(104) (1937), Grunke(102) (1938), Jones(105) (1943), Sacker & Nordin (1954)(106).

2. Les dispositifs de la fin du XX^{ème} siècle

Délaissés après la fin de la seconde guerre mondiale pendant presque vingt années, des dispositifs médicaux IO réapparaissent progressivement et se modernisent.

a) Trocart de Gardner(93)

Inventé dans les années 1960/1970 et utilisé pour les biopsies des crêtes iliaques, il dispose d'une extrémité fine et resserrée permettant une transfixion rapide du cortex osseux.



Figure 39 - Photographie d'un trocart de Gardner

b) Sur-Fast®

Elaboré en 1995 par Cook Médical™, ce dispositif comprend une aiguille intraveineuse et une poignée amovible. Avec un poids de 88 grammes, il est léger et simple d'utilisation mais il n'est presque plus utilisé de nos jours et est en arrêt de commercialisation.



Figure 40 - Photographie du Sur-Fast® monté avec une aiguille IV

c) Trocarts MedSurg®

Produits par MedSurg Industries™ au début des années 1980, ils furent rapidement abandonnés car ergonomiquement non adaptés. En effet, les ailettes fines et l'absence de garde sur le deuxième modèle compliquent leurs utilisations. Ils ont été mentionnés une seule fois dans une publication à propos d'une administration IO par voie fémorale(107).

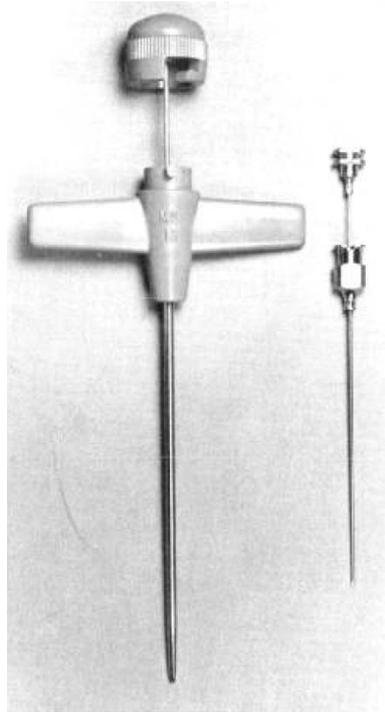


Figure 41 - Trocart MedSurg® à ailettes de 20 G et trocart MedSurg® sans ailettes pour ponction lombaire de 13 G : les deux furent utilisées pour des administrations intra-osseuses

d) OsteoPort®

Ce dispositif médical fût développé de 1989 à 1992 par Daniel Von Hoff et John Kuhn pour le laboratoire LifeQuest Medical™ puis évalué cliniquement par Daniel T. Casto. Sa production est l'œuvre d'un fond d'investissement de 50 000 \$ du gouvernement américain, pour le programme « Small Business Innovation Research », visant à commercialiser un cathéter intramédullaire implantable utilisable pour l'administration de chimiothérapies. Il ne parviendra pas à dépasser la phase I du développement et fût arrêté prématurément puis complètement abandonné. En effet, la primo-évaluation d'injection de doxorubicine chez la chèvre démontrait une trop forte toxicité via cette voie(108,109).



Figure 42 - Photographie de l'OsteoPort®

Il avait la forme d'une vis pour permettre une bonne fixation sur la crête iliaque et était composé d'une chambre d'injection externe avec un septum. La partie permettant la fixation osseuse était du titane et de l'acier inoxydable fileté afin d'être immobile une fois implanté. Les risques de délogement et d'extravasation étaient donc réduits afin de prévenir l'apparition d'une ostéomyélite ou de cellulite. La membrane est constituée de silastic, un silicone souple et inerte utilisé dans les chambres implantables et les cathéters IV.

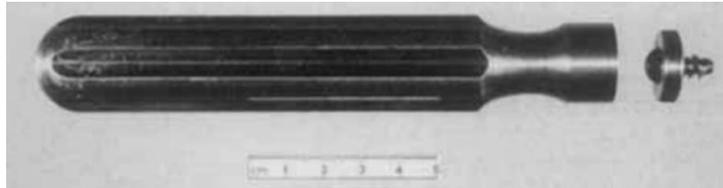


Figure 43 - Manche d'insertion manuel de l'OsteoPort®

C'était un dispositif médical invasif de type chirurgical mais non implantable car sa durée de pose maximale était limitée à 30 jours. La pose pouvait être indifféremment faite sous anesthésie générale ou anesthésie loco-régionale. Une aiguille devait être insérée à travers la peau jusqu'à pénétrer la chambre de l'OsteoPort® pour lier le dispositif à une ligne de perfusion. Une version pédiatrique en 14 G était également en développement pour un positionnement en tibial proximal.

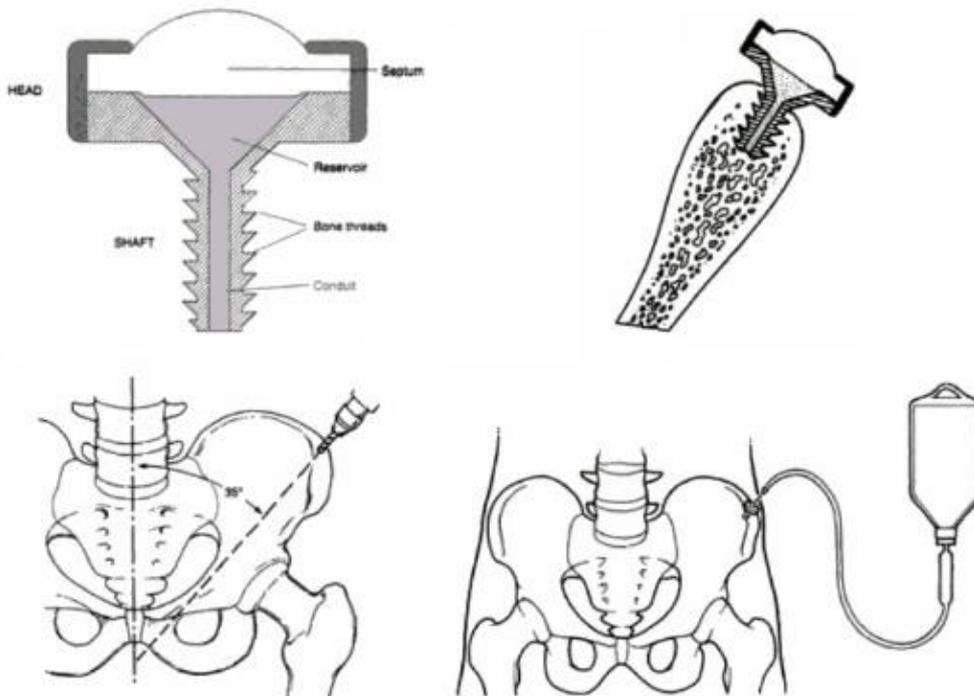


Figure 44 - Schémas de l'OsteoPort® et de son positionnement iliaque

B. Dispositifs médicaux utilisés de nos jours

Les avancées technologiques du 21^{ème} siècle permettent dorénavant aux dispositifs IO de devenir plus sécuritaires pour le patient et le manipulateur mais également plus résistants aux contraintes techniques. La démocratisation des dispositifs médicaux et des différents outils d'accès vasculaires disponibles sur le marché est en progression depuis la redécouverte de cet accès par Orłowski(71).

Les différents dispositifs médicaux IO actuellement utilisés se divisent en trois classes distinctes selon la méthode d'insertion utilisée :

- Les dispositifs manuels : d'un usage identique aux DM historiquement utilisés, leur insertion se fait par la seule force de l'opérateur.
- Les dispositifs à percussion : ils sont dotés d'un trocart propulsé par l'énergie cinétique d'un ressort comprimé.
- Les dispositifs motorisés : il s'agit d'un trocart monté sur une perceuse rotative alimentée par un moteur électrique.

1. À insertion manuelle

La première génération de dispositifs médicaux destinés à l'abord intra-osseux est en constante évolution depuis les années 1920. Les techniques d'insertion demeurent principalement identiques pour tous les dispositifs avec insertion manuelle : l'aiguille est orientée perpendiculairement au site d'insertion et introduite avec une pression constante et une rotation homogène par la seule force de l'opérateur. L'entrée dans l'espace intramédullaire est marquée par une soudaine perte de résistance indiquant à l'intervenant l'arrêt de la pression d'insertion.

Ce sont des dispositifs médicaux en acier composés d'un trocart avec mandrin ou d'une aiguille et généralement pourvu d'une poignée en métal ou en plastique propre selon le modèle. Leur usage *in vivo* est pratique car polyvalent, peu encombrant, léger et de faible coût. Ils peuvent être utilisés dans presque tous les milieux et situations cliniques cependant un certain degré d'expérience médicale est nécessaire pour la mise en place au vu des risques de courbures ou de casses du trocart. Par ailleurs, le risque d'arrachement est plus élevé avec les DM manuels par rapport aux autres types d'insertion(110).

Ces DM sont plutôt privilégiés en pédiatrie car la faible densité osseuse permet une insertion douce et progressive mais alors, dans ce cas, le degré d'expérience médicale devient alors d'autant plus primordial.

a) Trocart de type Mallarmé

L'hématologue français Mallarmé développe ce trocart en 1935 et lui donne son nom. Il est constitué d'une aiguille biseautée avec une garde fixe non réglable, sur laquelle se fait la prise en main, et d'un mandrin muni d'une poignée pour l'appui de la paume de la main. Deux ergots présents sur la garde permettent la stabilisation de la prise en main du trocart au niveau de l'index et du majeur.

Principalement dédié à la ponction et à l'aspiration de la moelle sternale et de la crête iliaque pour des analyses cytologiques, on peut l'utiliser pour des injections IO. Historiquement en acier et stérilisable, ils sont dorénavant en plastique et à usage unique.



Figure 45 - Photographie d'un trocart de Mallarmé en acier inoxydable, 1935

Disponible en 14 G, 15 G, 16 G et 18 G avec différentes longueurs disponibles entre 2 cm et 6 cm. Des connectiques Luer-Lock®, ou Luer simple selon la marque, permettent une connexion de seringues ou de lignes de perfusion pour administration de produits médicamenteux.



Figure 46 - Photographie d'un trocart de Mallarmé en plastique, 2015

Diverses nouvelles versions plus ergonomiques ont été développées par la suite par le laboratoire Thiebaud Biomedical™ : t'PS®, t'PSR®, t'BM®, t'BM II®.

b) Aiguilles de Cook™

Communément nommés ainsi car ces aiguilles sont toujours produites par Cook Medical™, ce sont des trocarts constitués d'une poignée en pommeau pour l'appui palmaire, d'un mandrin avec extrémité biseautée et d'une garde à ailettes métallique ou plastique. Un repère noir de positionnement à 1 cm de l'extrémité distale de l'aiguille est présent sur tous les modèles.

D'une longueur standard uniforme de 3 cm, plusieurs diamètres sont commercialisés :

- 15,5 G : elle dispose d'ailettes en métal et est destinée aux patients de plus de 24 mois.
- 16 G : avec des ailettes transparentes en plastique, cette taille est indiquée pour les patients de moins de 24 mois.
- 18 G : c'est la taille la plus fine, de couleur rose. Cette aiguille est préconisée pour les patients de moins de 24 mois et est la seule indiquée pour les prématurés.



Figure 47 - Photographie d'une aiguille de Cook™

Il existe cependant deux modifications spécifiques pour les aiguilles de Cook™ :

- La modification de Dieckmann® qui introduit deux orifices au niveau distal de l'extrémité de la canule dans le but de favoriser l'écoulement en cas d'obstruction de l'aiguille par un débris osseux. Ces trocarts sont disponibles avec des tailles de 14 G à 18 G pour une longueur comprise entre 2,5 cm et à 4 cm.

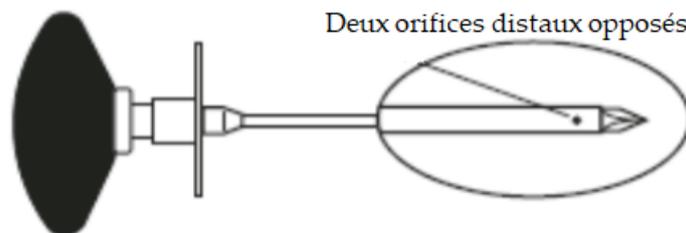


Figure 48 - Schéma d'une aiguille de Cook™ avec modification de Dieckmann®

- La modification de Sussmane-Raszynski® possède une canule avec une structure spiralée en forme de vis pour faciliter l'insertion, la mise en place et la tenue du trocart au travers de la corticale osseuse. Une garde réglable est présente sur le pas de vis. Il n'existe qu'un seul modèle disponible en 15,5 G pour une longueur de 3 cm.

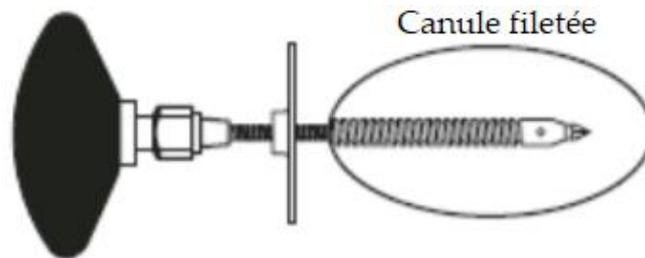


Figure 49 - Schéma d'une aiguille de Cook™ avec modification de Sussmane-Raszynski®

Ces trocarts sont en général réservés pour une utilisation pédiatrique, même s'il existe des modèles adultes, et pour des voies intra-osseuses tibiales, sternales ou au niveau des crêtes iliaques.

c) Trocart de Rosenthal

Parfois encore utilisé de nos jours, le trocart de Rosenthal est similaire au trocart de Klima-Rosegger. Disponible de 16 à 18 G avec différentes longueurs de 1,9 cm à 5 cm, son utilisation s'est atténuée en France à cause de son manque d'ergonomie, de l'absence de verrouillage du mandrin et de la fragilité de sa canule. Avec sa pointe en double biseau allongée, il peut permettre des aspirations de moelle sternale et tibiale et des injections intra-osseuses ponctuelles. Il est actuellement d'avantage utilisé en médecine vétérinaire notamment chez le chien.



Figure 50 - Photographie d'un trocart de Rosenthal

d) Trocart d'Illinois

Également appelé « modèle DIN » ou « aiguille en I », c'est un trocart disponible en 15 G (patients âgés de plus de 9 mois) à 18 G (patients de moins de 9 mois) pour une longueur d'aiguille de 1,5 cm à 2 cm, et initialement utilisé pour prélever de la moelle osseuse sternale mais qui peut parfois servir pour de la perfusion intra-osseuse.

Développé en 1993, il est équipé d'un embout Luer-Lock®, d'une bride protectrice en plastique au contact du patient, d'un capuchon dévissable et d'une garde ajustable par rotation. L'extrémité du trocart est biseautée. Il n'a pas de poignée et est donc moins ergonomique avec une prise en main assez difficile et technique. Dans la plupart de ses utilisations, une compresse est positionnée sur la paume de la main afin d'avoir une meilleure préhension. L'aspiration de la moelle osseuse est possible sur la crête iliaque, en sternal et en tibial.

Son utilisation est surtout pédiatrique par voie tibiale ou sternale bien que son utilisation chez l'adulte soit possible.

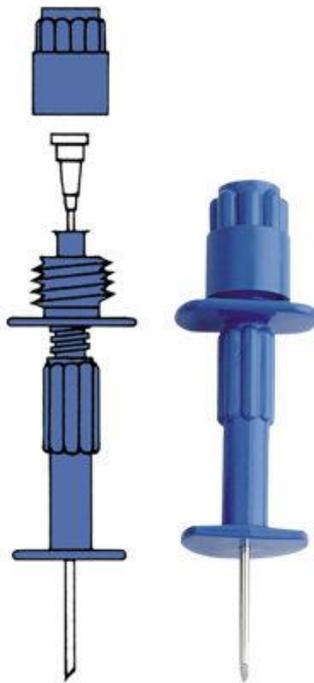


Figure 51 - Schéma et photographie d'un trocart d'Illinois

e) Trocart de type Jamshidi

Aussi appelé « aiguille en J », ce dispositif fût mis au point en 1971 par l'hématologue iranien Khosrow Jamshidi(111) pour des aspirations et biopsies de moelle osseuse au niveau des crêtes iliaques. La poignée mandrin, verrouillable et en deux parties, possède une forme ergonomique en T permettant une bonne préhension. La canule possède une double arête tranchante.

Trois modèles sont actuellement disponibles sur le marché :

- **TJC** : de 8 G à 13 G et des longueurs allant de 8 cm à 15 cm.
- **TJM** : cette version du TJC est équipée d'un extracteur de prélèvements multiples de moelle dans sa poignée afin de permettre un carottage et un repositionnement atraumatique du trocart. Les tailles disponibles sont identiques au modèle TJC.
- **DJ** : leurs tailles vont de 8 G à 13 G pour des longueurs de 5 cm à 15 cm, il s'agit par ailleurs du premier modèle historique de Jamshidi.



Figure 52 - Photographies des modèles TJC, TJM et DJ

f) Trocart de type Kendall

Le trocart de Kendall est une version hybride du trocart de Jamshidi et d'Illinois et est utilisable en pédiatrie et chez l'adulte. Il est constitué d'une poignée volumineuse en T en deux parties, pour un appui plus efficace, d'une garde réglable, d'un mandrin en pointe de diamant et d'une canule crénelée à trois biseaux avec embout Lüer-Lock®. La poignée permet à l'utilisateur d'avoir de bonnes sensations tactiles, et donc un meilleur contrôle de la pénétration de l'aiguille, ainsi qu'une diminution de la force d'insertion. La taille de l'aiguille est de 15 G à 18 G pour une longueur de 9 cm à 15 cm. Cette longueur limite donc son utilisation essentiellement aux ponctions médullaires au niveau iliaque.



Figure 53 - Photographie du trocart de Kendall

g) Trocart d'Islam(112,113)

Inventé en 1991, la première version est composée de quatre parties :

- Un trocart avec une extrémité en pointe de « flèche », afin de permettre la pénétration des tissus mous et du cortex osseux, doté en proximal d'une connectique Lüer-Lock® femelle faisant la liaison avec la canule.
- Une canule d'une longueur de 45 mm avec 14 orifices latéraux sur sa portion distale. Une barre transversale en forme de « T » permet une prise en main ergonomique et un confort pour l'utilisateur. Une connectique Lüer-Lock® mâle se trouve sur la portion proximale.
- Une poignée arrondie et volumineuse pour une meilleure manœuvrabilité. Elle peut indifféremment se fixer sur le trocart ou la canule pour faciliter le geste et le positionnement.
- Une garde avec une vis réglable afin d'ajuster la distance de pénétration dans les tissus osseux.



Figure 54 - Photographie de la première version du trocart d'Islam, 1991

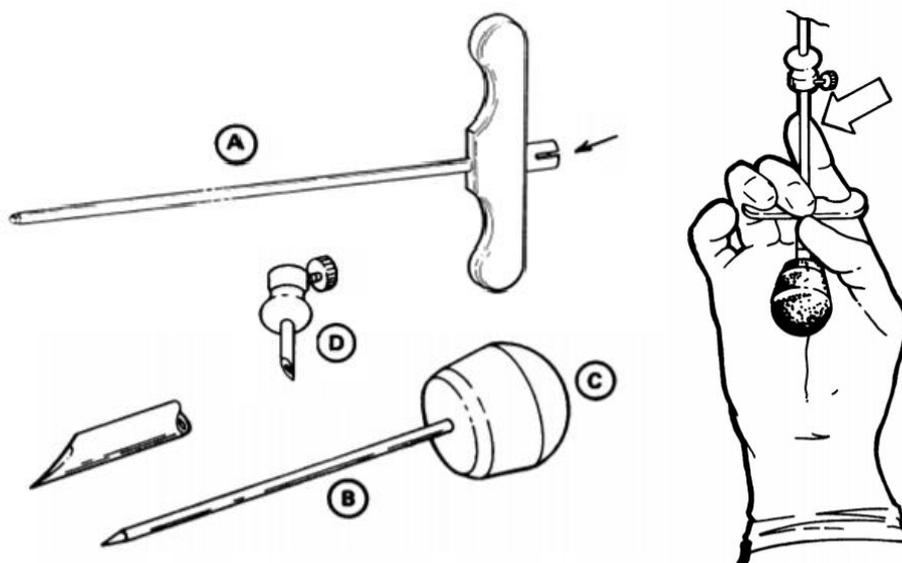


Figure 55 - Schémas d'un trocart d'Islam : (A) Canule, (B) Mandrin, (C) Poignée, (D) Garde(112)

En 2016 le Dr Islam améliore son dispositif selon ses retours et les évolutions technologiques des matériaux(113).



Figure 56 - Photographie de la version modifiée du trocart d'Islam, 2016

Cette dernière version est validée cliniquement pour être utilisée sur des patients jusqu'à 150 kg. Elle se compose dorénavant d'épais polymères plastiques et biocompatibles. Le design, l'ergonomie et le positionnement des doigts sont améliorés par un travail de la poignée et de la partie proximale de la canule.

h) EZ-IO® Poignée

Produit en 2004 par Vidacare Corporation™, la poignée EZ-IO® noire s'utilise avec les mêmes aiguilles que le dispositif motorisé EZ-IO® décrit par la suite.

Peu volumineux (< 9 cm), polyvalente et légère, elle est idéale en cas de panne du dispositif motorisé. La poignée est réutilisable après désinfection de niveau intermédiaire. Surtout utilisé dans les milieux militaires notamment en Angleterre avec un tarif avoisinant la vingtaine de livres sterling, ce produit n'est plus commercialisé en France depuis quelques années.



Figure 57 - Photographie d'une poignée EZ-IO®

i) EZ-IO T.A.L.O.N®

Le Tactically Advanced Lifesaving IO Needle (T.A.L.O.N®) est un trocart IO en acier inoxydable 304 de 15 G et long de 3,85 cm. Avec un pommeau sphérique pour une bonne préhension palmaire, ce dispositif commercialisé par Teleflex Medical™ est fourni avec un

repère sternal de 16 G, un dispositif de sécurisation passive, un prolongateur EZ-Connect® et un protège poignet. Le guide sternal permet de sécuriser et simplifier l'accès sternal afin de contrôler la profondeur d'insertion.

Son utilisation a été validée en tibial proximal et distal, en huméral et en sternal pour un usage militaire exclusif.



Figure 58 - Photographie de l'EZ-IO T.A.L.O.N.®, son repère sternal et le raccord EZ-Connect®

j) EZ-IO Manual Needle®

La première génération de ce dispositif médical de Teleflex Medical™ était un trocart bleu de 15 G pour 2,5 cm de long. Avec un poids d'environ 40 grammes, il était validé pour un strict usage militaire. Il disposait d'un mandrin intégré à une poignée ergonomique ronde en plastique bleu de 3 cm de diamètre.



Figure 59 - Photographie de l'EZ-IO Manual Needle® de 1ère génération

Une deuxième génération est depuis disponible pour la prise en charge préhospitalière civile et pour les militaires. La taille du trocart est maintenue à 15 G mais la longueur d'aiguille est augmentée à 3,85 cm de longueur.

Le kit prêt à l'emploi EZ-IO Manual Needle Set® comprend le dispositif IO, un raccord EZ-Connect®, un pansement EZ-Stabilizer®, une bande d'identification poignée patient, un raccord

EZ-Connect®, une compresse stérile, une compresse alcoolisée et un protecteur d'aiguilles. Léger avec seulement 60,7 grammes et peu encombrant, il est idéal pour une prise en charge extrahospitalière et n'est plus uniquement réservé aux militaires. Les voies d'insertion validées sont l'humérus, le tibia proximal et le tibia distal. Une version d'entraînement rouge non stérile est disponible.



Figure 60 - Photographies de l'EZ-IO Manual Needle® de 2^{ème} génération et sa version d'entraînement rouge

k) EZ-IO Sternal Needle®

Dédié uniquement à un usage militaire, ce dispositif est également commercialisé par Teleflex Medical™. Validé spécifiquement pour la voie sternale, ce trocart de 15 G mesure 7 cm de long et dispose d'une petite poignée ronde ergonomique en plastique vert d'un diamètre de 2 cm. Le code couleur vert utilisé chez Teleflex Medical™ est réservé à la voie sternale.

Le kit mis à disposition des forces armées comprend : le dispositif IO, un prolongateur EZ-Connect®, un pansement EZ-Stabilizer®, un pansement de positionnement sternal, une bande d'identification poignée patient, un bistouri, une compresse alcoolisée, une compresse sèche et un protecteur d'aiguilles. Le pansement sternal est positionné selon les repères anatomiques puis une incision de la peau au bistouri est pratiquée à travers l'orifice du pansement en délimitant le site d'insertion. Le trocart est introduit avec un mouvement vertical puis par des rotations dans les sens horaire et antihoraire. Le mandrin est retiré par un mouvement antihoraire. Enfin le pansement stabilisateur et le prolongateur sont connectés à l'aiguille.



Figure 61 - Photographies et schéma du trocart EZ-IO Sternal Needle® et de son kit prêt à l'emploi

I) Prometheus PIN®

Le Prometheus PIN® est commercialisé par Prometheus Medical™ depuis 2016, il s'agit d'un trocart gradué de 15 G et d'une longueur de 3 cm avec une canule et une petite poignée bleue. Sa courte longueur d'aiguille privilégie son utilisation pour les voies humérales, tibiales proximales et distales. Une étude interne au laboratoire mettait en avant un temps d'obtention d'une voie IO supérieure avec le dispositif Prometheus PIN® versus EZ-IO T.A.L.O.N® respectivement de 13,26 secondes et de 21,57 secondes(114). La durée de pose est validée au maximum pour 24 heures.



Figure 62 - Photographie du Prometheus PIN® et de son dispositif stabilisateur

m) Intraox®

Ce trocart intra-osseux a été développé par la compagnie italienne BPB Medica™. Il comporte deux orifices latéraux sur la partie distale de la canule afin de permettre une diffusion plus rapide des médicaments perfusés. Une poignée arrondie permet une préhension ergonomique au niveau de la paume de la main. Il est équipé d'une connectique Luer-Lock® et est disponible en 14 G, 15 G, 16 G et 18 G.



Figure 63 - Photographie du trocart Intraox®

n) First Access for Shock and Trauma (FAST®)

Un premier prototype est conjointement développé en 1990 par l'armée américaine et l'université de Californie sous le nom de Sternal Access Vascular Entry (SAVE®) : il se compose uniquement d'un trocart percuteur monté sur un socle et muni d'une garde(115).

L'idée est reprise en 1997 par Pyng Médical™ afin de créer le FAST® pour First Access for Shock and Trauma, destiné uniquement à un abord par voie sternale.

✓ Le FAST-1® devient donc le premier modèle commercialisé et est destiné aux adultes et aux enfants à partir de l'âge de 12 ans. Il se compose d'une poignée rouge lisse, imposante et non ergonomique ainsi que d'un anneau de 10 aiguilles stabilisatrices qui vont entrer en contact avec la surface périostée du manubrium sternal cependant sans pénétrer ce dernier. Un trocart central de 18 G pour 8 cm de long est par la suite automatiquement déployé, selon la profondeur préalablement définie par les aiguilles stabilisatrices, dès lors qu'une pression supérieure à 4 bars est appliquée. L'opérateur utilise le poids de son corps pour déclencher le dispositif. La gestion semi-automatique de la profondeur de pénétration du trocart central permet d'éviter une transfixion du sternum et de potentielles lésions internes. Ce dispositif demeure malgré tout lourd et encombrant.



Figure 64 - Photographie du FAST-1®

Le kit FAST-1® commercialisé et prêt à l'emploi comprend :

- Un introducteur FAST-1®
- Un pansement adhésif sternal triangulaire, avec un orifice dédié au positionnement du FAST-1®
- Un raccord flexible
- Un raccord de perfusion
- Un dôme de protection transparent

Après une heure de simulation et de démonstration, le personnel médical militaire obtenait pour ce dispositif un taux de réussite de pose de 94 % avec un temps d'insertion de 114 ± 36 secondes(116). Une formation est obligatoire, selon les recommandations du fabricant, pour son utilisation. Il faut en règle générale compter 50 secondes pour le positionnement et l'insertion du dispositif(117,118).

✓ FAST Responder Sternal IO® : ce modèle bleue et orange a été développé en 2013, à la suite d'un prototype dénommé FAST-X®, pour le personnel médical civil des services d'urgences et des hôpitaux. Il s'agit d'une version améliorée plus petite et plus compacte du FAST-1® qui comporte un nombre d'aiguilles stabilisatrices moins important. Le système de retrait devient également universel. Cependant, il faut noter que ce dispositif est plus difficile à utiliser pour le personnel civil. En effet, jusqu'à 25 % d'échecs de poses ont été recensés(119).



Figure 65 - Photographie du FAST Responder Sternal IO®

✓ FAST Tactical® : cette version de couleur noire est commercialisée pour le personnel médical civil et militaire. Un nouvel emballage beaucoup plus rigide est conçu. Son temps de placement estimé est de 10 secondes. Le taux de réussite est d'environ 74 % au premier essai clinique(120). Au second essai, le taux de succès grimpe à 95 % avec un temps d'insertion moyen de 60 secondes(120). Son intérêt d'utilisation dans les cas d'amputations traumatiques a été rapporté(44).



Figure 66 - Photographie du FAST Tactical®

o) Stanford-India Biodesign® (SIB)(121)

Développé en 2010 en Inde à New Dehli, ce dispositif manuel à faible coût est principalement destiné aux pays en voie de développement pour un usage mixte adulte et pédiatrique au niveau tibial proximal et distal. Il n'a pour l'instant été évalué que sur des cadavres humains.

C'est un dispositif simple : la pression et la rotation au niveau de la poignée permet la mise en place du dispositif par entrainement du trocart et de la canule. Une fois l'espace intramédullaire atteint, la poignée est retirée par une rotation inverse ainsi que le mandrin. Le temps de mise en place est estimé à moins de 15 secondes.

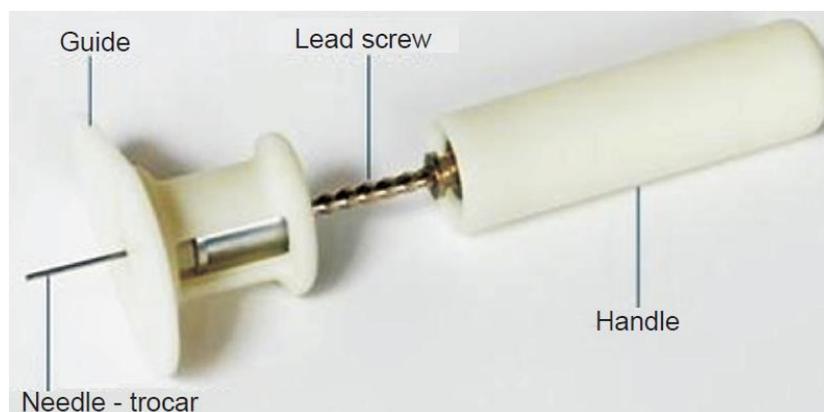


Figure 67 - Photographie du SIB®(121)

p) Near Needle Holder®

Le Near Needle Holder® a été conçu par la société canadienne Near Manufacturing™. Il s'agit d'une poignée réutilisable permettant l'insertion d'aiguilles creuses standards intraveineuses par voie IO. A visée essentiellement pédiatrique sur un site d'insertion tibial, ce dispositif médical n'est pas approuvé par la FDA.

Son usage est surtout intéressant pour les pays en voie de développement car son utilisation est polyvalente avec un bon taux d'efficacité (actuellement utilisé en Asie du Sud-Est). Cependant le risque de blessure pour le soignant est élevé du fait du manque d'ergonomie de la poignée ainsi que du risque de courber ou de casser l'aiguille. Le système de connectique de l'aiguille au dispositif n'est pas optimal ou sécurisé.

Les recommandations d'utilisation préconisent des aiguilles de 16 G à 20 G pour les enfants de moins de 18 mois et de 12 G à 16 G pour les enfants plus âgés. Une pince est nécessaire pour la mise en place et le retrait de l'aiguille.

La seule évaluation clinique de ce dispositif démontrait un temps de pose identique avec un trocart de Dieckman® (Trocart de Dieckman® : $32 \pm 12,3$ secondes contre Near Needle Holder® : $32 \pm 13,2$ secondes)(122).

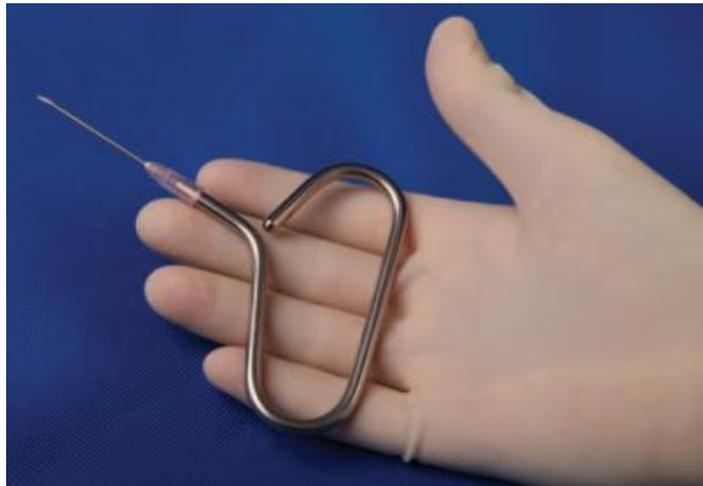


Figure 68 - Photographie du Near Needle Holder® monté avec une aiguille hypodermique rose de 18 G

q) Autres dispositifs manuels

Ces dispositifs ne sont pas indiqués dans la création d'un abord intra-osseux mais sont parfois utilisés dans cette intention par mésusage ou faute de matériels adéquats. Le risque de casse ou de plicature de ces aiguilles est élevé et il existe un risque de débit diminué ou non maîtrisé exposant à une inefficacité totale.

- Aiguille de Tuohy : destinée principalement aux péridurales, elle dispose d'une extrémité pointue et courbée et d'un talon de pointe émoussé. Son utilisation intra-osseuse a été notamment décrite dans des cas de réanimations pédiatriques(123).



Figure 69 - Photographie d'une aiguille à biseau directionnel de Tuohy en 16 G

- Aiguilles hypodermiques : ces aiguilles sont fines avec des gauges inférieures à ceux des trocarts intra-osseux. De plus, leurs débits sont trop faibles pour une utilisation intra-osseuse.



Figure 70 - Photographie d'aiguilles hypodermiques

- Microperfuseurs à ailettes : ils sont utilisés pour les perfusions sous-cutanées et épicrâniennes. Les tailles disponibles sont de 16 G à 25 G avec une longueur moyenne de 19 mm, ce qui est assez court pour un usage intra-osseux. De plus, l'aiguille est assez fragile pour traverser les tissus durs.

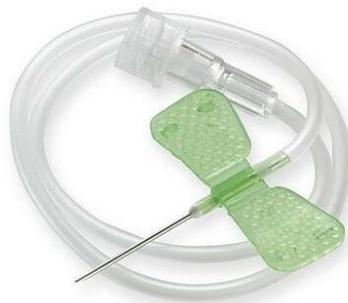


Figure 71 - Photographie d'un microperfuseur à ailettes de 23 G

- Cathéter intraveineux : utilisé pour la voie intravasculaire de longue durée. Des utilisations IO non publiées ont été mentionnées.



Figure 72 - Photographie d'un cathéter IV de 24 G

r) Conclusion

Il existe de très nombreux et différents DM IO manuels disponibles sur le marché. D'un usage simple et en général peu coûteux, ces trocars sont souvent utilisés en pédiatrie et se caractérisent par un taux d'échec de pose élevé. Ils sont cependant très économiquement abordables.

2. À percussion

Ce sont des DM de 2^{ème} génération avec un emploi semi-automatique. Ces dispositifs reposent sur un principe de ressort avec détente réglable permettant de propulser l'aiguille dans l'os. Ce mode d'insertion est par ailleurs très utilisé dans un contexte médical militaire plutôt que civil.

a) Bone Injection Gun (BIG®)

Commercialisé depuis 1994 par Persys Medical™ via sa filiale israélienne WaisMed™ et disponible en France depuis 2002, ce dispositif est le premier système de trocart intra-osseux semi-automatique monté sur un dispositif préarmé avec ressort permettant une libération instantanée et immédiate du trocart par une simple pression, après désactivation de la goupille de sécurité rouge. Le manche contient le ressort et une échelle réglable pour définir la profondeur. Suite à la pression sur le système d'injection, un trocart est directement positionné par propulsion puis le système de pose BIG® et la canule centrale peuvent être retirés. L'énergie cinétique délivrée au trocart permet une insertion rapide et franche à une profondeur d'insertion de 0,5 à 2,5 cm. Son utilisation est strictement contre-indiquée par voie sternale car le risque de transfixion sternale et de lésions cardiaques est élevé. Le dispositif est léger avec 83 g.

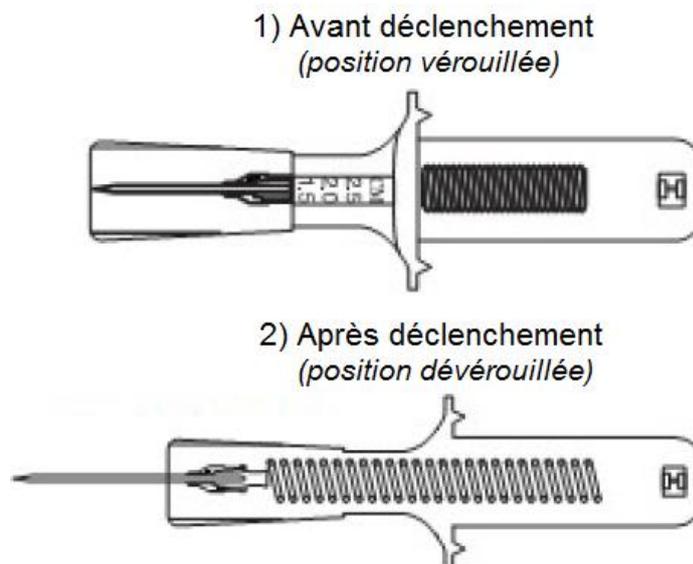


Figure 73 - Schémas du système d'activation interne du BIG® (Persys Medical™)



Figure 74 - Photographies de l'emploi du dispositif BIG® : positionnement, retrait de la goupille de sécurité et pression d'activation (Persys Medical™)

✓ La version adulte bleue est disponible en 15 G avec une longueur de trocart à 3,3 cm. Elle peut être utilisée à partir de 12 ans sur les sites suivants : tibia proximal, humérus proximal, malléole médiale et radius distal. La profondeur pré réglée d'usine est de 2,5 cm pour les voies tibiales et humérales mais demeure ajustable pour les autres sites (1,5 cm pour le radius distal et 2 cm pour la malléole).

✓ La version pédiatrique rouge (Pediatric-BIG®) est de 18 G pour une longueur de 2,4 cm et est utilisable sur le tibia proximal du nouveau-né jusqu'à l'âge de 12 ans, avec une profondeur ajustable selon le site anatomique de 0,5 cm à 1,5 cm. Les profondeurs conseillées sont de 0,5 cm à 1 cm jusqu'à 3 ans, de 1 cm à 1,5 cm entre 3 et 6 ans et de 1,5 cm entre 6 et 12 ans.

✓ Par ailleurs, une version vétérinaire de couleur verte en 15 G est commercialisée : c'est le seul dispositif médical IO pour lequel il existe un modèle à usage vétérinaire chez le chien(124).



Figure 75 - Photographies des trois BIG® : Adulte (bleu) en 15 G, Pédiatrique (rouge) en 18 G, Vétérinaire (vert) en 15 G

Le temps de préparation et d'insertion est d'environ 17 secondes(125). Il y a un risque de blessure réel pour l'opérateur ou le patient si le dispositif est mal orienté ou si le ressort est

actionné trop précipitamment(118). Ce système a beaucoup été utilisé et évalué sur les champs de guerre en Irak et en Afghanistan du côté américain(44,126).

Un dispositif d'entraînement bleu et réutilisable est commercialisé. Une bonne prise en main de la technique d'insertion et une formation sont nécessaires avant tout emploi chez l'homme.

b) New IntraOsseous device (NIO®)

Il possède un mode de fonctionnement relativement identique au BIG® avec un trocart intra-osseux monté sur un dispositif avec un ressort préarmé. Conçu à l'origine suite à une demande des forces armées israéliennes de Tsahal, il est commercialisé par Persys Medical™ via sa filiale israélienne WaisMed™ depuis 2014.

C'est une version perfectionnée du BIG® : plus large, un design ergonomique, un pansement stabilisateur prémonté, plus sûr et plus simple d'utilisation. Les sites d'insertion validés sont la tête humérale et le tibial proximal. Le mécanisme de sécurité amélioré permet d'éviter un déclenchement accidentel par l'opérateur. La taille adulte est de 15 G pour longueur d'aiguille de 4,2 cm.

En 2016, la FDA a approuvé l'utilisation du NIO-P® en 18 G, spécifiquement destiné à l'usage pédiatrique pour les enfants de 3 à 12 ans.

Le NIO-Infant® est quant à lui indiqué pour les nouveau-nés de 36 semaines (poids de plus de 2,3 kg) aux enfants de 3 ans par voie proximale tibiale. La pénétration de l'aiguille est graduelle afin de prévenir une transfixion osseuse.

Des flèches indicatrices sont présentes sur le dispositif d'insertion afin de guider l'utilisateur sur la bonne position tibiale pédiatrique. Il est petit, sans batterie et léger avec seulement 100 grammes. L'accès intra-osseux est estimé à un peu plus de 10 secondes selon le laboratoire.



Figure 76 - Photographie du NIO® adulte (bleu) et pédiatrique (rouge)



Figure 77 - Photographie du NIO-Infant®

Il est à noter qu'une matériovigilance a été émise par l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé (ANSM) en 2016 avec rappel de lot des NIO® pour défaut d'éjection de l'aiguille une fois le dispositif armé. L'analyse des dispositifs des lots compromis a alors mis en cause un grippage entre deux pièces métalliques de même dureté ; ce défaut a depuis été corrigé par le laboratoire sur l'ensemble de sa gamme.

3. À insertion motorisée

Il s'agit de la 3^{ème} génération de dispositifs médicaux développés pour la voie intra-osseuse. Ils disposent d'un moteur intégré rendant possible une rotation du trocart afin de diminuer la force d'insertion nécessaire par l'opérateur.

a) EZ-IO®

Commercialisé depuis 2004 par Vidacare Corporation™, la société et ses brevets ont été rachetés par Teleflex Medical™ en décembre 2013. Inspiré des moteurs chirurgicaux orthopédiques, c'est un système de perceuse motorisée permettant de forer et de fixer des aiguilles spécifiques intra-osseuses avec un effort moindre grâce à un contrôle plus fin de la force de pénétration osseuse. Il se compose de deux parties : une batterie au lithium non rechargeable et non démontable d'une durée de vie de 10 ans et d'un moteur de perceuse électrique.

Il est opérationnel chez l'enfant et l'adulte, notamment pour les patients obèses. Le dispositif motorisé EZ-IO® n'est validé cliniquement que pour une utilisation maximale de 24 heures par la FDA.

✓ La 1^{ère} génération de l'EZ-IO® était encombrante et assez lourde avec ses 400 grammes mais possédait une autonomie pour environ 700 à 1000 utilisations.



Figure 78 - Photographie du dispositif motorisé EZ-IO® de première génération

✓ La 2^{ème} génération EZ-IO® se nomme « G3 » : le design est retravaillé pour que le dispositif soit plus compact et léger avec seulement 315 grammes. L'autonomie est cependant réduite à environ 500 utilisations au compromis de la mobilité : un voyant rouge sur la poignée indique lorsqu'il reste moins de 10 % de batterie. Si besoin, il peut être stérilisé à basse température par STERRAD®. Les sites d'insertions validés par la FDA sont l'humérus proximal, le tibia proximal, le tibia distal et le fémur distal (uniquement en pédiatrie).

Trois versions sont disponibles sur le marché :

- Une version civile de couleur rouge
- Une version militaire de couleur noire afin d'être moins visible sur le terrain opérationnel. Ce dispositif est actuellement utilisé par le personnel médical du Service de Santé des Armées (SSA).
- Une version d'entraînement et de formation également de couleur rouge mais avec une étiquette « Training only, not for clinical use ».



Figure 79 - Photographies du dispositif motorisé EZ-IO® de deuxième génération dit « G3 », en version civile (rouge) et militaire (noir)

Trois tailles d'aiguilles sont disponibles et recommandées selon la gamme de poids du patient et de l'épaisseur des tissus sous-cutanés :



Figure 80 - Photographie des trois types d'aiguilles EZ-IO®

✓ Rose : sa taille est de 15 G pour une longueur totale de 15 mm, elle est adaptée aux enfants et nouveau-nés de 3 à 39 kg sur un positionnement le plus souvent tibial. Son volume mort est très faible de l'ordre de 0,03 mL.

✓ Bleu : d'un calibre de 15 G pour 25 mm de long, elle est adaptée aux enfants, adolescents et adultes de plus de 40 kg. Le site tibial est privilégié avec cette taille. Son volume mort est de 0,045 mL.

✓ Jaune : il s'agit du plus gros gabarit avec 15 G et une longueur de 45 mm, cette taille est indiquée pour les patients avec une épaisseur excessive de tissus entre la peau et l'os (patient obèse ou musclé). Cette taille est toutefois conseillée lors d'une insertion sur le site de l'humérus proximal chez les patients de plus de 40 kg. Son volume mort est de 0,07 mL.



Figure 81 - Photographie des aiguilles d'entraînement EZ-IO®

✓ Rouge : avec un calibre de 15 G et des longueurs de 15 mm, 25 mm et 45 mm ; ces aiguilles sont validées uniquement pour les entraînements et les formations. Elles ne sont donc pas stériles et n'ont jamais été validées pour un usage médical.

Toutes les aiguilles présentées sont en acier inoxydable 304 avec des embases en polycarbonate. Fournies stériles et à usage unique, elles disposent d'une connexion Luer-Lock®,

d'un mandrin et d'un capuchon de sécurité. Elles peuvent résister à une pression de 16 800 mmHg. Un kit d'aiguille comprend un réceptacle de sécurisation d'aiguille, un bracelet d'identification patient, un pansement EZ-Stabiliser® et un raccord EZ-Connect®.

Les aiguilles EZ-IO® disposent d'une ligne noire à 5 mm de l'embase permettant d'estimer la profondeur atteinte par la pointe du cathéter. Si ce repère n'est pas visible au-dessus de la peau du patient, c'est qu'il est nécessaire de choisir une aiguille avec une longueur plus importante ou de déplacer le site d'insertion de la VIO. L'aiguille doit cependant toujours être introduite avec une pression modérée. Dans le cas contraire, avec une trop forte pression appliquée, le système moteur peut ralentir ou caler. En cas de défaillance du système motorisé lors de la pose, il est possible d'introduire manuellement les aiguilles EZ-IO® en procédure dégradée.

Seul un jugement clinique permet de déterminer le choix de la taille d'aiguille en fonction de l'anatomie du patient, de son poids et de la profondeur des tissus cutanés. Par exemple, le choix d'une longueur d'aiguille adaptée pour les patients avec un indice de masse corporelle (IMC) supérieur à 30, ou avec une importante épaisseur de tissus sous-cutanés, s'avère parfois compliqué. En cas de doutes, il est conseillé d'équiper le DM motorisé avec la plus longue taille d'aiguille disponible. Certaines études s'inquiètent de l'augmentation de l'IMC dans les pays occidentaux, le recours à la perfusion IO devra prendre en compte ce fait à l'avenir(127). Dans ce but, un protocole est proposé en annexe n°1 afin d'orienter le choix du praticien sur la longueur d'aiguille adaptée pour les patients avec un IMC > 30.

EZ-IO® permet d'atteindre des débits de perfusion nettement plus élevés que les autres dispositifs. En effet, ce débit peut atteindre chez l'adulte jusqu'à 3 500 mL/h sur un site tibial proximal et jusqu'à 7 000 mL/h sur la tête humérale(128). L'EZ-IO® est le DM avec le moins de taux d'échecs de poses mais c'est également le plus récent d'entre eux, puisque commercialisé à partir de 2006 en France. En 2010, le laboratoire Vidacare Corporation™ déclare que la technologie EZ-IO® est désormais disponible dans plus de 90 % des ambulances de soins d'urgences « paramedics » et des services hospitaliers d'urgences civils et militaires aux USA. Il serait également présent dans plus de 50 pays autour du globe(129).

Les sites d'insertions possibles sont l'humérus proximal, le tibia proximal, le tibia distal ainsi que le fémur distal mais en pédiatrie uniquement. L'accès sternal par EZ-IO® est théoriquement possible mais non validé par les autorités réglementaires.

Dispositifs médicaux associés à l'EZ-IO® :

✓ Pansement stabilisateur EZ-Stabilizer® : commercialisé par Teleflex Medical™, ce pansement hypoallergénique, translucide et étanche est spécifiquement conçu pour les aiguilles EZ-IO® indépendamment de leur emplacement. Il est composé d'un film de polyéthylène et d'acrylate et ses dimensions sont de 10 x 12 cm.



Figure 82 - Photographie du pansement EZ-Stabilizer® pour EZ-IO®

✓ Raccord EZ-Connect® : c'est un raccord d'extension produit par Teleflex Medical™ afin d'éviter un déplacement accidentel de l'aiguille une fois mise en place. Une valve bleue avec filtre perméable (connectique Robersite®) permet la connexion à une seringue et du côté opposé un adaptateur coudé Luer-Lock® se fixe sur l'aiguille EZ-IO®. Le prolongateur doit être purgé avec du NaCl 0,9 %, puis clampé, avant sa fixation sur l'embase de l'EZ-IO®. Une purge avec de la lidocaïne est possible si le patient est algique. Son emploi est interdit pour des injections à hautes pressions et son volume mort total est d'environ 1 mL.



Figure 83 - Photographie du raccord EZ-Connect® pour EZ-IO®

✓ KeepSafe® : produit aux Etats-Unis par IO KeepSafe™, ce dispositif tolère la fixation de toutes les tailles d'aiguilles EZ-IO® et d'Illinois au niveau des membres inférieurs et supérieurs. Il se dote d'une fixation par clip sur l'aiguille et est à usage unique. Il ne doit pas être employé en cas de présence d'œdèmes sur le membre visé à cause du velcro de stabilisation.



Figure 84 - Photographie du KeepSafe® positionné avec une aiguille EZ-IO® et un raccord EZ-Connect®

b) OnControl®

Produit par Teleflex Medical™, ce nouveau dispositif directement inspiré d'EZ-IO® facilite les biopsies osseuses et les biopsies de moelle osseuse au niveau de la crête iliaque postérieure. Il est autorisé de commercialisation par la FDA depuis 2007 et obtient une extension d'utilisation en 2008 dans le cadre des vertébroplasties. Similaire à la 2^{ème} version G3 EZ-IO®, en couleur orange, il permet un prélèvement environ 55 % plus rapide qu'un trocart manuel et peut théoriquement donner lieu à des injections de médicaments par VIO. Il ne possède cependant pas les autorisations réglementaires nécessaires pour cette utilisation.



Figure 85 - Photographie du dispositif médical OnControl® et de ses aiguilles

C. Un cheminement vers de nouvelles innovations

a) PortIO®

Développé depuis 2018 par la société américaine PavMed™, ce dispositif similaire à l'OsteoPort® est destiné aux patients sans accès veineux périphérique ou central. La mise en place de cette chambre implantable pour accès vasculaire IO se déroulerait lors d'une petite chirurgie, sous anesthésie locale ou loco-régionale, par voie percutanée. Il n'y aurait pas besoin de contrôle radiologique post-insertion, ni de bolus régulier avec héparine. Résistant à l'occlusion, PortIO® est un dispositif médical implantable dont la durée d'implantation ne pourra excéder 60 jours au maximum.

Actuellement, ce dispositif a été évalué chez des animaux en Nouvelle-Zélande pour lesquels des perfusions d'antibiotiques, de solutions salines, d'albumine et de culots globulaires ont été faites. L'analyse radiographique par injection de produits de contraste à 60 jours ne démontrait pas la présence de caillots ou de croissance osseuse en regard de la zone d'insertion.

La première étude clinique chez l'homme est en cours en Colombie depuis le premier trimestre 2020 : elle vise à démontrer qu'une implantation de 60 jours est possible chez les patients dialysés avec un faible réseau veineux périphérique.

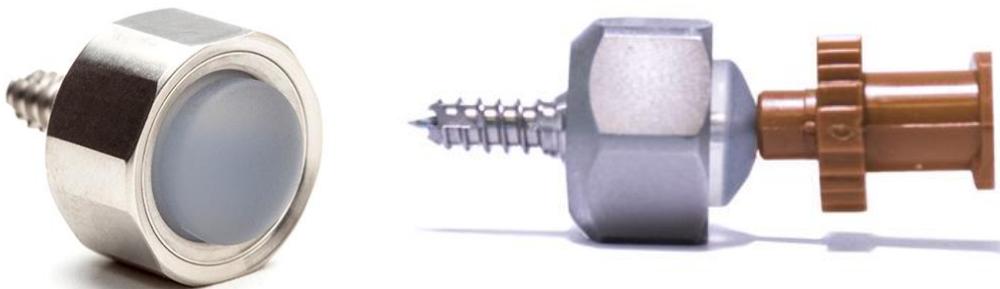


Figure 86 - Photographies du dispositif médical implantable PortIO®

b) SAM IO®

La société américaine SAM Medical™ développe depuis 2019 une perceuse manuelle semi-automatique dont le principe de base est similaire à l'EZ-IO®. En effet, cet appareil permet un mouvement de rotation de l'aiguille lorsqu'un mouvement de préhension est appliqué sur la poignée antérieure. Sans les inconvénients d'une batterie mais encombrant par sa taille, il nécessite néanmoins un bon contrôle de la force appliquée pour permettre une rotation optimale et homogène. Sa poignée en polycarbonate est réutilisable jusqu'à environ 10 000 fois. Une version civile, une version militaire et une version d'entraînement seront bientôt disponibles sur le marché. Il pèse seulement 70 grammes.



Figure 87 - Photographie de la perceuse SAM IO®

Il a été approuvé par la FDA depuis le début de l'année 2020 pour une utilisation sur l'humérus proximal, le tibia distal, le tibia proximal et le fémur distal. Les tailles des aiguilles sont identiques à celles de l'EZ-IO® avec le même code couleur : 15 G pour des longueurs de 15 mm (rose), 25 mm (bleu) et 45 mm (jaune). Elles sont toutes équipées d'une connectique Luer-Lock®.



Figure 88 - Photographies des trois tailles d'aiguilles SAM IO®

Dispositifs médicaux associés au SAM IO® :

- ✓ SAM IO Stabilizer® : c'est un pansement stabilisateur avec une partie centrale cylindrique pour recevoir le corps de l'aiguille.
- ✓ SAM IO Connector® : c'est un prolongateur d'environ 15 cm de long avec deux extrémités Luer-Lock®, un mâle et une femelle.



Figure 89 - Photographies du pansement SAM IO Stabilizer® et du raccord SAM IO Connector®

✓ SAM IO Adaptor® : l'adaptateur SAM IO® se fixe à la perceuse et permet d'utiliser les modèles d'aiguilles EZ-IO®. L'adaptateur s'enclenche en premier autour de l'embase de l'aiguille, puis est raccordé à la perceuse de la même manière que l'aiguille.



Figure 90 - Photographie du SAM IO Adaptor® pour les aiguilles EZ-IO®

c) UniTam®

Un dispositif d'injection intra-osseux appelé UniTam® est en cours de développement depuis les années 2010 par le laboratoire américain Vital Medix™ afin d'être employé dans les situations de choc hémorragique notamment dans un cadre militaire. En effet, le dispositif contiendrait une molécule biopharmaceutique appelé Tamiasyn® pouvant diminuer le stress hypovolémique en abaissant le débit d'échange d'oxygène des cellules et provoquant ainsi un état « d'hibernation cellulaire » leur permettant de fonctionner plus longtemps sans apport sanguin. Un essai sur l'homme est actuellement en cours pour une administration par voie sternale et tibiale proximale.



Figure 91 - Schémas de modélisation informatique 3D de l'UniTam®

d) FirstMed®

L'armée américaine a sollicité la compagnie Resuscitation Solutions™ dans le but de créer une nouvelle génération de dispositifs médicaux intra-osseux. Ce nouveau dispositif destiné à un usage sternal ou tibial est toujours en cours de développement(47).

IV. La VIO : de l'insertion à l'ablation des cathéters

A. Déroulement conventionnel d'une pose de VIO

1. Préparation du site

Après lavage au savon et désinfection des mains avec une solution hydroalcoolique, le site d'insertion est repéré par le médecin puis le patient est installé pour le geste et le matériel est préparé. Les conditions se doivent d'être le plus aseptique possible selon la configuration de la prise en charge (urgente vitale ou relative). Le médecin met son masque chirurgical et procède à une deuxième désinfection des mains par soluté hydroalcoolique puis se protège pour le geste avec une paire de gant à usage unique.

Les recommandations de la Société Française d'Hygiène Hospitalière (SF2H) préconisent, avant toute pose d'un site accès vasculaire, une désinfection de la peau au niveau du site d'insertion avec un antiseptique alcoolique d'un titre supérieur à 70° ou de la chlorhexidine alcoolique 0,5 % à 2 % (130). Selon ces dernières recommandations, il faut cependant privilégier et utiliser en première intention de la chlorhexidine alcoolique 2 % pour tous les types d'accès vasculaires. Au minimum trois passages cutanés de désinfectants sont recommandés. De plus, il ne faut en général pas dépiler la zone d'insertion sauf si l'accès est difficilement réalisable. En effet, les microlésions de rasage près de la zone de trocardage peuvent entraîner par la suite des infections cutanées bactériennes locales avec un passage de germes vers le compartiment sanguin IO pouvant aboutir à une septicémie.

Après la préparation et l'antisepsie de la zone de ponction, le champ stérile est installé si le degré d'urgence le permet et une anesthésie locale sous-cutanée par lidocaïne 2 % sans adrénaline est proposée au patient. L'anesthésie n'est pas systématique selon le degré d'urgence, de l'état de conscience ou non du patient et des protocoles propres à chaque centre hospitalier. Le patient est finalement préparé pour le geste et doit être le plus immobile possible.

2. Insertion de l'aiguille / trocart

a) Manuel

Description d'utilisation d'une aiguille de Cook™ :

Suite au repérage du site d'insertion, le dispositif est maintenu fermement au cœur de la paume de la main. Le pouce et l'index stabilisent le trocart à environ 1 à 2 cm de l'extrémité distale de l'aiguille. L'autre main sert de maintien au niveau du site d'insertion. L'insertion se fait par un mouvement de pression verticale et des mouvements de rotation avec la force palmaire dans le sens des aiguilles d'une montre. Si l'aiguille pivote pendant l'insertion, cela peut provoquer à posteriori une extravasation des médicaments.

La perte de résistance signale la perforation de la corticale osseuse et le positionnement dans l'espace intramédullaire. Le mandrin est alors retiré et un raccord est connecté.

Particularité du système FAST-1® :

La pose du FAST-1® nécessite une technique à deux mains afin d'atteindre une force suffisante d'insertion à travers le manubrium sternal. Après activation, la poignée est enlevée et le trocart IO demeure en place. Un dôme plastique est positionné autour du trocart afin de le protéger.

b) À percussion

Méthode d'insertion du BIG® :

Après réglage de la profondeur d'insertion souhaitée, le dispositif est positionné à 90° par rapport à la peau avec une main et l'autre main permet de libérer le système de sécurité puis de stabiliser le site d'insertion. Pour déployer le trocart, une pression verticale avec la paume de la main est appliquée. Un « clic » audible confirme l'activation du dispositif, par relâchement du ressort comprimé, entraînant le trocart. La poignée du BIG® puis le mandrin sont retirés et le cathéter est sécurisé par une compresse et un pansement.

Méthode d'insertion du NIO® :

Après orientation du dispositif à 90° contre la peau, le protocole de mise en place nécessite les deux mains : une maintenant le dispositif au niveau des gâchettes latérales et une servant à déverrouiller le dispositif par une rotation à 90° du capuchon. Tout en exerçant une pression vers le bas, les gâchettes sont actionnées alors que la deuxième main vient en renfort palmaire sur le capuchon. Le NIO® est retiré ainsi que le mandrin. Un pansement fixateur est mis en place afin de maintenir le cathéter resté en place.

c) Motorisé

Méthode d'insertion d'un système EZ-IO® :

Une taille d'aiguille est choisie selon l'âge, la corpulence et le site d'insertion du patient puis connectée sur la perceuse. Le capuchon de sécurité de l'aiguille est enlevé et un test à vide de la perceuse est entrepris. Le dispositif est positionné et déclenché par appui sur la gâchette en exerçant une pression verticale, constante et modérée.

Pour les patients pédiatriques, il est conseillé de relâcher immédiatement la gâchette dès lors qu'une perte de résistance soudaine ou qu'un changement de bruit significatif est constaté.

Pour les patients adultes, l'aiguille doit en général être positionnée entre 1 et 2 cm après le premier contact osseux. Des pressions intermittentes sur la gâchette peuvent être effectuées pour ajuster le geste.

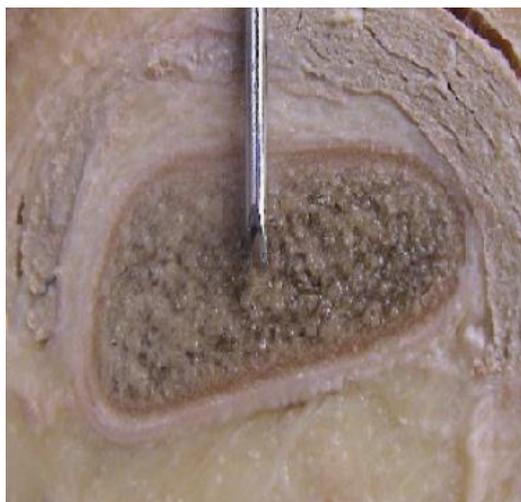


Figure 92 - Photographie du positionnement idéal du trocart IO dans la cavité médullaire sur une coupe transversale osseuse

La vérification de visibilité d'un trait noir à l'extérieur de l'aiguille IO permet d'estimer le positionnement osseux (un trait représente 5 mm). Si le dernier repère n'est pas visualisable, il faut alors prendre une aiguille plus longue. Enfin, l'aiguille est déconnectée de la perceuse et le mandrin est retiré.

Un pansement triangulaire EZ-Stabilizer® sera positionné sur l'embase de l'aiguille afin de la maintenir et de la fixer pour éviter un déplacement accidentel. Si le pansement EZ-Stabilizer® n'est pas fourni, il est possible de maintenir le dispositif entre deux compresses stériles autour de l'aiguille avec un sparadrap posé en forme de huit.

Le prolongateur EZ-Connect® est raccordé sur l'embase de l'aiguille, avec une purge préalable au NaCl 0,9 %, ± lidocaïne 2 % sans adrénaline si le patient est algique. Il faut cependant prendre garde au volume interne du trocart IO et des prolongateurs : ces volumes morts doivent être pris en compte afin de calculer la quantité des médicaments administrés. Il faut s'assurer que tous les espaces morts ont été totalement vidés de la lidocaïne restante avant qu'une médication spécifique soit commencée.

3. Contrôles de la bonne mise en place des DM IO

Après chaque pose, quatre points sont essentiellement contrôlés :

- ❖ L'aiguille est immobile et se maintient d'elle-même dans l'os du patient : il faut exercer de légères pressions horizontales et verticales simultanées afin de s'assurer de l'ancrage de l'aiguille. Il ne doit pas y avoir de possibilités de rotation de l'aiguille. Ce contrôle est indolore pour le patient. Dans un contexte hospitalier non urgent, ou à posteriori de l'acte urgent, une radiographie simple peut être réalisée afin d'identifier avec précision le positionnement de l'aiguille IO. Une confirmation du placement intra-osseux par échographie à ultrasons Doppler peut être aussi utilisée(131).

- ❖ Une aspiration avec une seringue de 5 mL ou de 10 mL laisse apparaître un reflux de sang ou de moelle osseuse. En plus de ce contrôle, seule la connexion directe d'une seringue sur l'aiguille IO pour les prélèvements sanguins est acceptée, tout en maintenant le cathéter afin d'éviter un retrait involontaire(132). A défaut les tubulures doivent être connectées à un robinet trois voies avec rallonge.
- ❖ Une injection d'un bolus de NaCl 0,9 % est pratiquée pendant 5 secondes : il ne doit pas y avoir de grosse résistance à la pression. Parfois, une légère résistance est constatée lors du début du rinçage et correspond à la purge de la partie compacte des tissus osseux trocardés. Le volume est adapté selon l'âge du patient : 2 mL pour un nourrisson, 5 mL pour un enfant et 10 mL pour un adolescent ou un adulte. Il faut utiliser de préférence une seringue dont le volume est le plus proche de la quantité de NaCl à injecter. Ce bolus, fortement douloureux pour le patient, permet de créer un espace plus important dans l'espace médullaire afin d'autoriser un débit de perfusion optimal par la suite. Cependant, il faut faire attention à ne pas faire de bolus avec une pression beaucoup trop importante qui pourrait accroître le risque d'épanchement.
- ❖ Il faut contrôler l'absence d'extravasations et d'infiltrations sous-cutanées. Le site d'insertion doit être surveillé attentivement dans les premières minutes : si une extravasation est constatée, le trocart doit être repositionné plus profondément ou retiré totalement pour choisir un autre site d'insertion. Dans la mesure du possible et en cas de doutes sur un passage sous-cutané, un rinçage supplémentaire par 5 à 10 mL de NaCl 0,9 % peut être envisagé 5 minutes après l'insertion.

Bien que vérifié immédiatement après la pose, ces étapes doivent néanmoins être fréquemment recontrôlées jusqu'à la décision d'arrêt de la VIO.

4. L'analgésie intra-osseuse

La perfusion intra-osseuse sous pression est douloureuse. Des administrations pendant une à deux minutes de lidocaïne 2 % sans adrénaline sont néanmoins possibles afin de soulager le patient. La lidocaïne administrée par VIO n'a pas d'effets systémiques car elle se fixe directement sur ses récepteurs intra-médullaires. Plusieurs protocoles hospitaliers ont été définis en France et à l'étranger, nous avons adapté un protocole de l'hôpital de Liverpool au Royaume-Uni à nos pratiques cliniques françaises. Ce protocole est consultable en annexe n°2.

Chez l'enfant, la posologie de lidocaïne sera de 0,5 mg/kg avec une dose maximale de 40 mg alors que chez l'adulte la dose sera en moyenne de 20 à 50 mg, avec une dose maximale administrable de 200 mg. Il faut par la suite attendre idéalement 60 à 120 secondes pour laisser un temps d'action suffisant à l'anesthésique, ce qui est difficilement applicable en pratique clinique. Un complément de 50 % de la dose initiale peut être administré si l'analgésie désirée n'est pas atteinte. Ces injections sont réalisées directement dans le cathéter intra-osseux et un rinçage par NaCl 0,9 % est obligatoire après chaque administration.

5. Le début de la perfusion

Suite à ces étapes, le champ stérile est retiré. A défaut de dispositifs de maintien commerciaux, un pansement stérile doit être mis en place autour du site d'insertion en le positionnant de telle manière afin qu'il puisse protéger et recouvrir l'aiguille IO. Enfin, une pression doit idéalement être appliquée sur ce pansement pendant cinq minutes pour limiter les risques d'infiltrations et de diffusion sous-cutanées(133). Un sparadrap stérile peut être utilisé pour protéger et renforcer le pansement primaire.

Les seringues et les tubulures doivent éviter d'être connectées directement à l'aiguille intra-osseuse mais doivent de préférence se raccorder sur un prolongateur droit ou coudé. L'administration de fluides et de médicaments peut se faire en bolus ou en perfusions continues avec une manchette à pression ou une pompe volumétrique afin de potentialiser le débit de perfusion appliquée. Le débit libre de solutés est à proscrire et il est impératif de rincer la tubulure et le cathéter avec du NaCl 0,9 % entre chaque administration de produits médicamenteux. Cette dernière précaution devient primordiale après l'administration de solutés hypertoniques (tels que le mannitol et le glucose concentré à 10 %) ou encore des solutés alcalins (comme le bicarbonate de sodium à 4,2 % et à 8,4 %). En effet, le risque de nécrose médullaire est important avec ces médicaments. Parfois, un bolus avec une héparine est pratiqué afin de prévenir une éventuelle coagulation dans le dispositif avant la connexion au set de perfusion(134).

L'opérateur peut enlever ses gants, se désinfecter les mains et stabiliser si besoin le membre perfusé avec une attèle.

Dans le cadre d'une prise en charge hospitalière non urgente, le temps de pose complet est estimé entre 3 et 5 minutes(133).

B. Les différents sites d'accès intra-osseux

Le choix d'un site d'insertion dépend de plusieurs paramètres propres au patient, à la pertinence de son état clinique et à son environnement. Les facteurs déterminants sont l'âge, la taille, la corpulence, les pathologies préexistantes, le contexte d'urgence, l'état cutané et osseux, la capacité de localisation des repères anatomiques et l'expérience du médecin.

Les premiers pionniers de la VIO ont longtemps avancé que le sternum était le site d'insertion prioritaire du fait de sa proximité anatomique cardiaque, avec les veines mammaires reliées à la veine azygos puis à la circulation veineuse centrale, et de sa facilité d'accès. Cependant, les sites d'insertions habituellement envisagés sont localisés sur les os longs et possèdent des repères anatomiques clairement visualisables avec une faible profondeur de tissus sous-cutanés. Par ce constat, le tibia proximal, le tibia distal ainsi que l'humérus proximal sont les premiers sites privilégiés pour établir un accès IO.

Avant 1998, la communauté scientifique supposait qu'une cavité médullaire était indispensable pour une bonne perfusion IO et que, par conséquent, la voie intra-osseuse était envisageable uniquement sur des os richement vascularisés. Le postulat de la diffusion médullaire précédant la diffusion systémique était légion. Cette théorie a depuis été réfutée avec les premiers essais de perfusions sur le calcanéus et le radius distal(135).

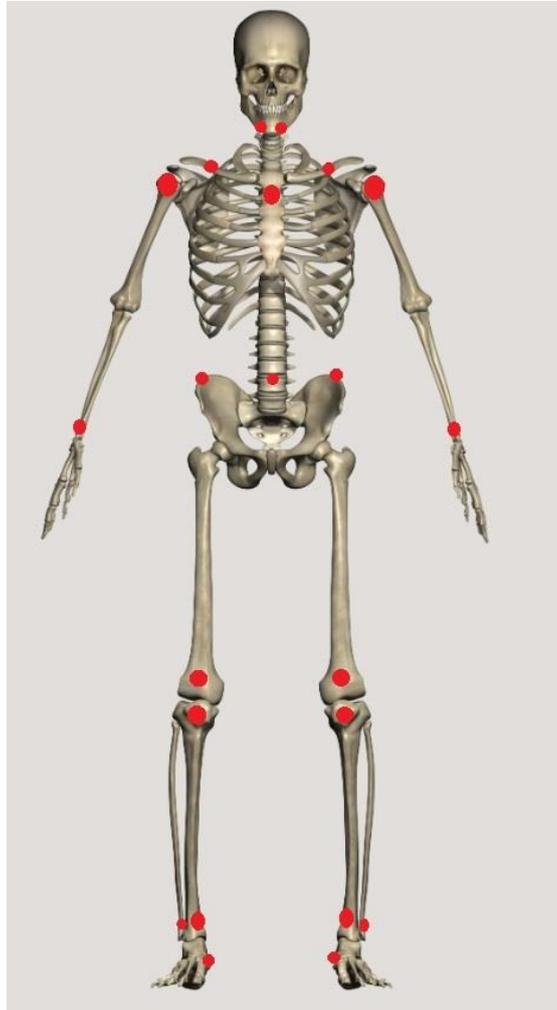


Figure 93 - Schéma des différents sites d'insertion intra-osseux possibles

1. Le sternum

L'insertion IO sternale est décrite depuis les années 1920 mais la faible épaisseur du cortex osseux engendre une augmentation des complications(42), d'autant plus que les organes vitaux et l'aorte sont anatomiquement proches de la zone d'accès. Par ailleurs, il existe de nombreuses complications propres à la voie sternale comme l'hydrotorax, la médiastinite et les transfixions parfois fatales.

Au fur et à mesure de la découverte d'autres sites IO, notamment tibial, cette voie est progressivement délaissée du fait de son rapport bénéfices/risques défavorable(136). Elle n'est pas indiquée chez l'enfant compte tenu de la faible épaisseur corticale du manubrium sternal

et de la proximité des gros vaisseaux(137). De plus, l'abord sternal est à éviter pour les patients en ACR car le positionnement du dispositif interfère avec la réalisation du massage cardiaque.

En France, cette voie d'accès est approuvée uniquement avec des systèmes de perfusion IO sternale à usage militaire : manuels ou à percussion. En effet, il y a statistiquement plus de chances d'être blessé aux membres supérieurs et inférieurs pour les militaires qu'au thorax du fait de la présence du gilet pare-balles. La perfusion IO sternale permet également aux membres supérieurs et inférieurs d'être toujours disponibles en cas de combats.

L'os sternal est large, plat, facilement repérable et avec une faible épaisseur de corticale osseuse entre 1,5 mm et 2 mm chez l'adulte. Le point d'insertion se situe 2 cm en dessous de l'incisure jugulaire et au-dessus de l'angle sternal de Louis. Une préincision sternale doit être envisagée si l'aiguille a une taille inférieure à 7,5 mm. Le volume total de la cavité médullaire sternale est estimé de 6 à 11 mL.



Figure 94 - Schéma de repérage du site d'injection du manubrium sternal à 2 cm en dessous de la fourchette sternale

2. L'humérus proximal

D'abord évalué chez le cochon(138), c'est un site idéal pour les adultes malgré un repérage anatomique osseux difficile. Pourtant certaines études ont démontré que cette zone est plus problématique du fait de la profondeur des repères anatomiques par rapport au tibia proximal(139,140).

Il existe plusieurs techniques pour identifier les repères anatomiques et accéder à ce site. Une d'entre elles, la plus enseignée, stipule que le patient doit être allongé bras sur le côté avec son coude en adduction à 90°, humérus en rotation interne et la paume de la main posée sur l'ombilic. Le coude doit être plaqué au corps et reposer au sol. Une autre position possible

est le bras allongé le long du corps en rotation interne de telle manière que le pouce soit orienté contre le corps et vers le bas.

Ces positions augmentent la proéminence du tubercule majeur qui est le site le plus saillant à 1-2 cm au-dessus du col chirurgical.

Une fois le tubercule majeur repéré à la palpation, il faut insérer l'aiguille à 2 cm sur la droite ou la gauche du tubercule majeur avec un angle de 45° par rapport au plan sagittal. Le geste doit être précis du fait de la présence anatomique proche d'une branche du nerf axillaire, du tendon bicipital et d'une branche de l'artère humérale circonflexe antérieure. Le risque d'endommager une de ces structures est néanmoins relativement faible.

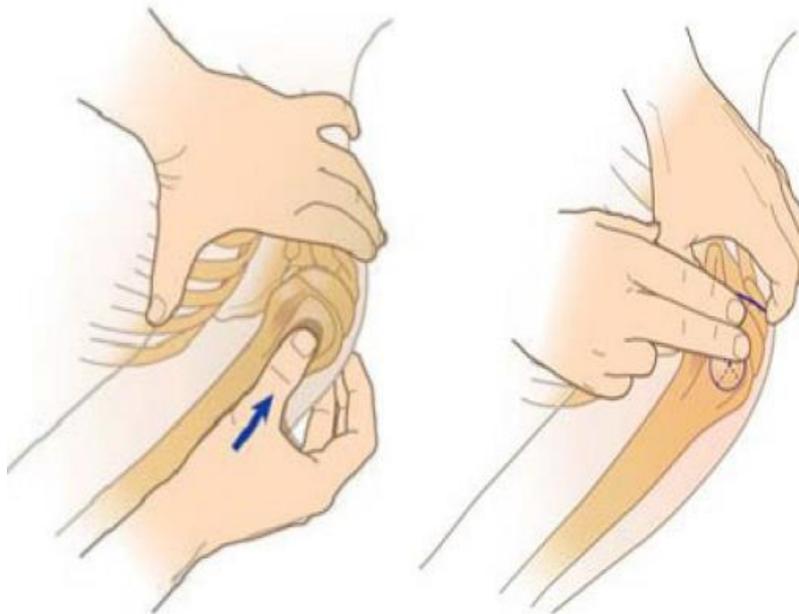


Figure 95 - Schémas du repérage de la grosse tubérosité humérale(128)

Ce site d'insertion est utilisable à la fois chez l'adulte et chez l'enfant mais nécessite une compliance du patient au geste s'il est conscient. Le taux d'échec de poses est malgré tout élevé car les repères osseux sont difficilement identifiables. Cette voie d'accès peut gêner les actes de réanimation cardio-pulmonaires et doit être envisagée avec précaution chez les patients présentant une luxation chronique. Il faut par ailleurs indiquer que le risque de déperfusion accidentel est plus important que les autres voies du fait de la mobilisation des membres supérieurs. A noter que dans le cadre d'une réanimation cardio-pulmonaire, il peut s'avérer que le positionnement du bras soit en abduction et que la VIO gêne le massage cardiaque et la rotation des intervenants. Afin de minimiser cela, il est possible de faire une rotation médiale de l'épaule et de maintenir la main du patient sous le fessier.

Les chances de transfixions sont minimales et le risque de développement de syndrome des loges est faible par rapport aux autres sites(141). La douleur ressentie par le patient serait moins importante au moment du bolus, à cause de la cavité intra-médullaire plus grande et de travées osseuses moins denses(142).

Avec une pression de 300 mmHg, l'estimation du débit huméral serait de 5 L/heure. Cette voie possède une des meilleures pharmacocinétique au vu de sa proximité anatomique avec le cœur droit(26). Par exemple, suite à des tests d'épinéphrine sur un modèle animal : la concentration maximale d'épinéphrine (C_{max}) au bout de 30 secondes était de 620,91 ng/mL en IO par voie humérale contre 150,06 ng/mL par voie IV ($p = 0.017$)(143).

3. Le tibia proximal

C'est la voie d'urgence la plus plébiscitée pour les adultes et les enfants : facilité de repères anatomiques (tubérosité tibiale), site d'insertion large et plat, zone éloignée de la réanimation cardio-pulmonaire et absence d'amas vasculo-nerveux en regard du site d'insertion.

Sur une jambe légèrement fléchie, le positionnement se fait à 2 cm en distal de la tubérosité tibiale en dessous de la rotule et au niveau de la surface antéro-médiale de l'os avec un angle de 60° à 90° par rapport à l'axe longitudinal du tibia. Pour les enfants, il faut cependant se placer à 1 cm en dessous du plateau tibial et à 2cm en extérieur de la tubérosité tibiale dans le sens médial. Afin de ne pas léser le cartilage de croissance, il est conseillé d'orienter le trocart à 45° en regard du pied une fois l'os atteint et jusqu'à la sensation de perte de résistance. Le site est plat sans excès de tissus sous-cutanés et sans passage anatomique de nerfs mais avec une paroi corticale très fine.

La jambe doit être relevée pour la perfusion qui est facilitée en débit constant. Des essais avec une pression de 300 mmHg avaient retrouvé un débit tibial de 1 à 3 L/h(144). C'est par ailleurs la zone avec le plus de réussites d'insertions(145).



Figure 96 - Radiographie et tomographie 3D d'un trocart intra-osseux positionné en tibia proximal(146)

4. Le tibia distal

Le site distal du tibia est une bonne alternative lorsque la perfusion au niveau proximal est impossible. La couche de tissus sous-cutanés au niveau de la malléole médiale et de la corticale osseuse tibiale est peu épaisse. L'aiguille sera positionnée environ à 3 cm au-dessus de la malléole interne, au niveau du plat de la diaphyse sur la surface médiale du tibia, avec un angle de 20 à 30° en direction de l'axe longitudinal du tibia afin de ne pas blesser la veine saphène(146). Pour les enfants, le site d'insertion est 1 à 2 cm au-dessus de la malléole interne. Une insertion avec un angle perpendiculaire est également possible. Il faut préciser que seul EZ-IO® est approuvé par la FDA pour les adultes et les enfants.

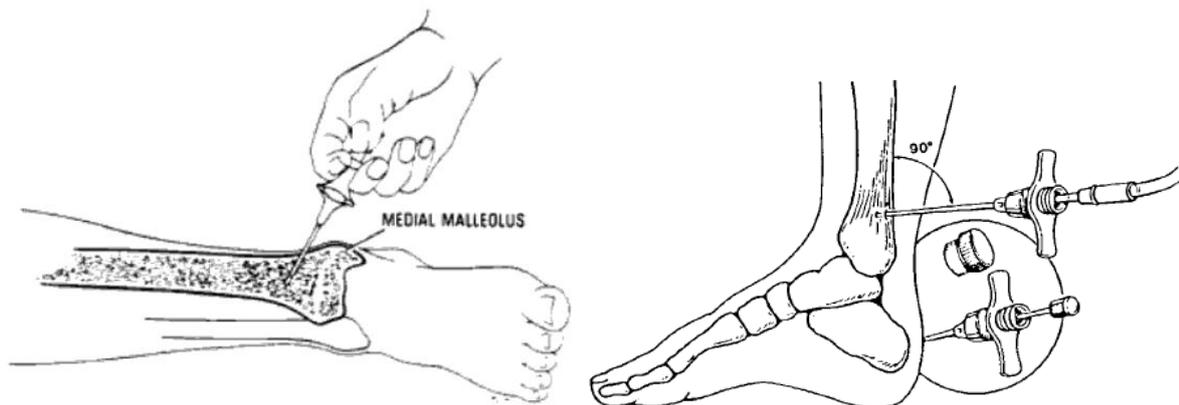


Figure 97 - Schémas d'insertion d'un trocart manuel au niveau de la malléole médiale(147,148)

Le débit sanguin est comparable au tibia proximal et a été évalué en moyenne de 600 mL à 1 000 mL/h et jusqu'à 2 400 mL/h par injection en pression positive(149).

5. Le fémur distal

Souvent employé chez les enfants de moins de 12 ans, ce site n'est presque pas utilisé chez les adultes(74). Le patient est allongé, la jambe et le genou légèrement pliés, pour une insertion sur le tiers distal du fémur.

Chez les adultes, l'insertion se fait à 2-3 cm en proximal des épicondyles externes, sur la ligne médiane du fémur distal antérieur dans un plan sagittal(11,107). L'aiguille doit être orientée entre 10 et 30° en direction opposée de la plaque de croissance épiphysaire afin d'éviter les lésions cartilagineuses(11).

Chez l'enfant, l'accès se situe à 1 cm au-dessus de la rotule et à 1 cm de la ligne médiane sur la face interne.

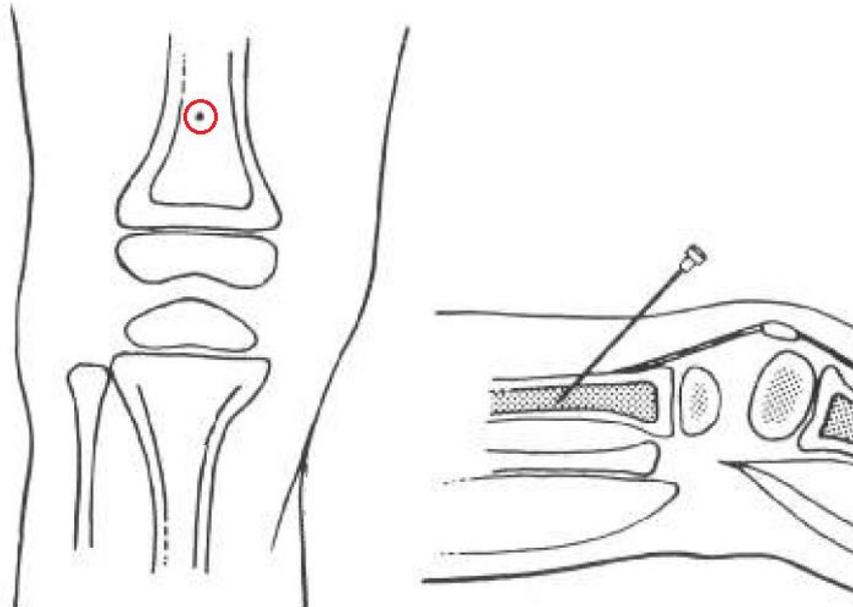


Figure 98 - Schéma d'une vue antérieure et sagittale du point d'insertion fémorale(107)

Le risque de lésions des tissus musculaires, notamment sur le quadriceps, est à prendre en compte avant d'envisager ce site. De plus, et au vu de l'importante épaisseur de tissus musculaires, ce site est déconseillé chez l'adulte surtout pour les patients avec un risque hémorragique élevé. L'emploi d'un trocart avec un faible diamètre est préconisé pour diminuer ce risque. Cette voie a par ailleurs été évaluée sur des modèles d'animaux tels que le cochon(138) et le rat(49).

6. Le calcanéus

Bien qu'il ne possède pas de cavité médullaire, il a été démontré en 2003 que le calcanéus, le plus volumineux os du tarse, peut être perfusé par voie intra-osseuse(135,148). En effet, du vert de méthyle à une concentration de 10 mg/mL perfusé par voie calcanéenne a été retrouvé immédiatement dans la veine malléolaire médiale, la veine saphène superficielle et le réseau veineux dorsal du pied pour deux tiers des patients perfusés. Ce fût également un succès pour le dernier tiers restant mais avec un délai retardé(148).

L'insertion se fera à environ 2 cm de la tubérosité calcanéenne vers le processus médial avec un angle de 45° en direction de la malléole latérale(135). La diffusion est majoritaire dans la veine saphène superficielle et dans la veine malléolaire médiale avec un débit évalué à 200 mL/h par une étude de 1989(147). Cet os a pour avantage d'être éloigné du site de réanimation cardio-pulmonaire, toutefois avec un délai d'action équivalent aux autres sites intra-osseux, et d'avoir des sites anatomiques facilement identifiables.



Figure 99 - Photographie d'une insertion intra-osseuse calcanéenne sur un modèle cadavérique(148)

7. Le radius distal

Peu utilisé en clinique, un accès IO par le radius distal est pourtant évoqué en 1997 par les frères Waisman(150).

Le patient est installé en position couché et expose son radius par une rotation interne afin que ce dernier soit présenté par sa face antérieure. Dans cet axe, il est plus facile de visualiser la base du processus styloïde du radius distal pour l'insertion. A noter qu'il subsiste une forte variabilité interindividuelle dans la population. En effet, certaines personnes n'ont pas de cavité intramédullaire radiale alors que d'autres en ont une limitée.

8. L'os iliaque

Au niveau de la crête iliaque, cet accès fût utilisé une première fois en 1945 par Van den Berghe et Blitsen. Il faut attendre 1952 pour que l'équipe de Tarrow évoque cette voie comme un potentiel site de VIO(151). Cependant, le risque de pénétration pelvienne était trop important et le nombre d'échecs de pose trop élevé pour permettre une utilisation clinique fréquente. Iwama la décrira également en 1994(152).

Les sites de perfusions possibles sont la crête iliaque et les épines iliaques postéro-supérieure et antéro-supérieure. La cavité médullaire est large et la corticale osseuse est très épaisse de l'ordre de 2,8 à 6 mm, ce qui rend l'insertion difficile. Le système motorisé EZ-IO® n'est pas validé pour cette voie d'accès : il faut privilégier des dispositifs manuels à type aiguilles de Cook™. Au final, l'os iliaque est rarement utilisé ou il l'est uniquement quand toutes les autres VIO classiques et envisagées sont impossibles.

9. Les sites d'exceptions

a) La clavicule

La clavicule a déjà été mentionnée comme site d'injection IO chez des adultes. Iwama a démontré en 1994 que la clavicule pouvait être utilisée comme alternative aux sites standards de la perfusion IO(152). Cependant cette voie est très rarement utilisée en pratique clinique car le positionnement de l'aiguille entrave les actes de réanimation cardio-pulmonaire.

b) Le péroné

Le péroné a été évoqué dans seulement une publication scientifique(153), cette VIO n'est pas indiquée en première intention mais reste possible à défaut d'autres accès disponibles.

c) La mandibule

La voie d'accès mandibulaire antérieure a été étudiée sur des cadavres avec une aiguille courte EZ-IO® de 15 mm. L'opérateur maintient fermement la partie antérieure de la mandibule avec son pouce et son index. L'insertion se déroule en regard des canines avec un angle d'environ 45°. Le temps de pose a été estimée à $25,5 \pm 18,9$ secondes(154).



Figure 100 - Photographie du positionnement pour accès IO mandibulaire avec EZ-IO®(154)

Les dispositifs d'insertion manuels et à percussions sont interdits pour cet accès au vu d'un risque élevé de transfixion.

d) Les vertèbres

Les ponctions et perfusions IO vertébrale sont possibles à travers le processus épineux des deuxième, troisième et quatrième vertèbres lombaires(155). Le patient doit être allongé latéralement en position fœtale. Ce geste est hautement à risque au vu de la proximité anatomique de la moelle épinière et n'est pas utilisé en pratique clinique courante(91).

C. Retrait des dispositifs IO

La réévaluation de l'intérêt et de la pertinence du maintien de l'accès intra-osseux doit être quotidienne par le personnel médical. Le premier contrôle de réévaluation se déroule en général une à deux heures après la mise en place du dispositif. Le changement d'accès vasculaire vers une voie veineuse centrale, périphérique ou sous-cutanée doit se faire dès que possible afin de limiter le risque d'apparition d'ostéomyélite, qui est proportionnel au temps de mise en place des dispositifs IO.

En cas de symptômes d'infections locales ou systémiques, le dispositif doit être retiré. Si des signes d'infections locales visuels sont constatés, l'aiguille ou le trocart peuvent être envoyés au laboratoire d'analyses médicales pour tenter d'identifier le germe en cause.

Les critères d'évaluations et de surveillances de la VIO prennent en compte les éléments suivants :

- Coloration du membre
- Présence du pouls distal du membre (si concerné)
- Apparition d'un œdème sous-cutané
- Position et maintien de l'aiguille
- Perméabilité de la voie
- Site de ponction

Comme après toute administration veineuse, il est nécessaire de faire un bolus de solution saline sur la VIO afin de s'assurer que tous les médicaments et solutés soient administrés en leur totalité. En effet, le volume mort des dispositifs IO peut atteindre 1 mL, ce qui peut avoir des conséquences cliniques notamment en pédiatrie.

Matériel nécessaire pour le retrait du dispositif IO :

- ✓ Une seringue de 10 mL, avec une connectique Luer-Lock®
- ✓ Un antiseptique alcoolique de type chlorhexidine 2 % ou bétadine alcoolique
- ✓ Une solution hydroalcoolique pour la désinfection des mains
- ✓ Un pansement simple stérile
- ✓ Une compresse stérile
- ✓ Une paire de gant (de préférence stérile)

Procédure du retrait de trocars et d'aiguilles intra-osseuses :

1. Après désinfection des mains avec une solution hydroalcoolique puis port des gants, le pansement de fixation du dispositif IO est enlevé et une seringue Luer-Lock® est connectée puis verrouillée à l'aiguille.
2. L'ensemble aiguille/seringue est retiré délicatement, en rectiligne par rapport à l'axe d'insertion de l'aiguille, par rotation dans le sens des aiguilles d'une montre. Il ne faut pas être trop rapide, surtout chez le sujet âgé ou chez un patient avec des pathologies osseuses, car cela peut occasionner des fractures en particulier sur le site huméral. Il faut également éviter d'incliner ou secouer le dispositif pendant cette manœuvre.
3. Une fois le trocart ou l'aiguille retiré, une antisepsie et une compression du point de ponction sont effectuées pendant cinq minutes. Un pansement simple stérile doit être positionné et maintenu en place sous pression manuelle pendant cinq minutes au minimum(133).

A noter qu'un retrait manuel sans seringue est possible mais déconseillé. Le retrait des aiguilles EZ-IO® s'effectue exclusivement avec une seringue Luer-Lock®.

D. Le choix d'un dispositif médical adapté

Devant les contraintes économiques, logistiques et médicales propres à chaque établissement de santé, le choix d'un DM IO approprié s'avère multifactoriel mais repose avant tout sur les données cliniques de la littérature.

Les trocars de Mallarmé, de Jamshidi et de Kendall ont un risque plus élevé de casses ou de torsions lors d'une utilisation autre que les voies sternales et iliaques(126). Les aiguilles de Cook™ ont une insertion plus difficile mais les casses ou torsions du trocart sont moins fréquentes. Le tibia distal est le site le plus adapté pour une insertion avec un dispositif manuel(156). Une force manuelle excessive est nécessaire pour leur mise en place chez l'adulte ; de ce fait, ils sont privilégiés pour un usage pédiatrique(21). Le temps de mise en place manuel moyen est de 60 à 120 secondes(156).

Le BIG® a prouvé sa supériorité par rapport au trocart manuel de Jamshidi ($p < 0,001$) pour le temps de mise en place, avec ou sans combinaison NRBC(157). Malheureusement, l'utilisation des dispositifs à percussion n'est pas recommandée en France : ils sont actuellement maniés presque exclusivement par le personnel médical militaire.

Il est communément admis qu'un système motorisé est le DM le plus adapté dans la plupart des utilisations chez les adultes compte tenu de sa polyvalence, de sa fiabilité et de son faible taux d'échecs.

La plupart des études comparatives existantes privilégient la supériorité d'utilisation du dispositif motorisé EZ-IO® : une revue complète de la littérature sur plus de 505 articles et 2106 insertions relate que le dispositif EZ-IO® possède le plus faible taux d'échecs (9,1 %) par rapport au trocart de Jamshidi (24,3 %) tandis qu'il n'existe pas de différence significative entre EZ-IO®

et le BIG®. Le FAST-1® a par contre un taux d'échecs supérieur à l'EZ-IO® (23,9 % vs 9,1 %) et au BIG® (23,9 % vs 12,2 %)(158). D'autres études ont démontré la supériorité des dispositifs motorisés versus manuels et à percussions que cela soit en terme de temps de prise en charge ou du taux d'échecs de poses(159,160). Cependant, certains médecins expérimentés soutiennent que, d'un point de vue technique, les DM avec insertion manuelle demeurent les plus sûrs du marché car ils peuvent plus finement ressentir le franchissement de la corticale osseuse vers la moelle, notamment en pédiatrie.

Type de DM	Force d'insertion nécessaire	Entraînement nécessaire	Disponibilité	Taux d'échecs de poses	Prix
Moyens de fortune	+++	+++	+++	+++	+
Manuel	+++	+++	+++	+++	++
À percussion	+	++	+	++	++
Motorisé	+	+	++	+	+++

Tableau 1 - Comparaison des différentes caractéristiques des dispositifs médicaux intra-osseux

V. Risques et complications de la VIO

Les complications dues à une perfusion intra-osseuse sont rares et ont été estimées entre 2,1 et 4 %(161,162). Certaines complications fatales ont été directement attribuées à une perfusion IO, la plupart étaient liées à une ponction sternale avec des contextes cliniques de médiastinites, d'hydrothorax ou de transfixions du cœur ou de l'aorte(136).

Les risques inhérents à la mise en place des dispositifs intra-osseux, ainsi que les complications à court et à long termes, sont bien présents et ne doivent pas être négligés.

A. Risques liés à la mise en place d'une VIO

1. Risques mécaniques

La plupart des risques mécaniques ont pour origine un facteur humain :

- Mauvais repérage anatomique : il s'agit de la principale cause d'échec de pose. Une étude a démontré qu'une tentative de perfusion IO sur dix était un échec(163). De par l'évolution d'utilisation des dispositifs IO manuels vers les dispositifs motorisés, ce taux serait encore plus faible de nos jours. Après l'échec d'une insertion, aucune autre tentative ne peut être théoriquement refaite sur le même os pendant au moins 48 heures. L'échec de pose est le plus souvent dû à un manque d'expérience de l'opérateur.

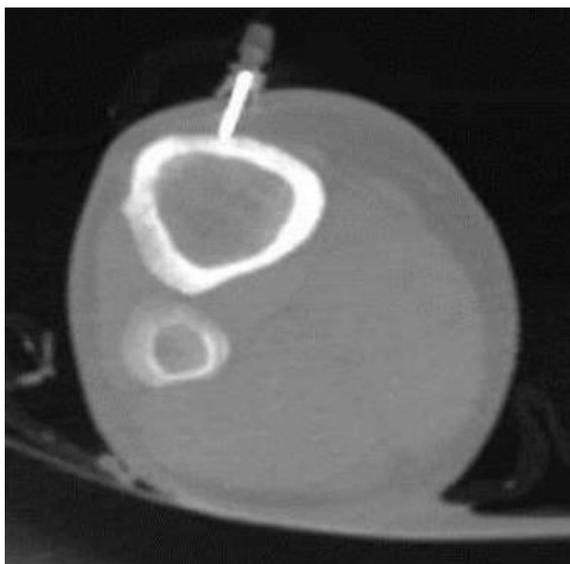


Figure 101 - Radiographie d'une tentative d'accès IO par voie tibiale proximale : l'aiguille n'a pas pénétré la corticale osseuse(164)

- Aiguille abimée, courbée ou cassée : cette conséquence résulte d'une pression exercée trop élevée ou d'un mauvais angle d'insertion. Le risque que l'aiguille se courbe ou se casse durant une insertion avec un trocart manuel est 33,3 % plus importante que lorsque cette dernière est faite avec un dispositif motorisé(165). L'utilisation de dispositifs motorisés et l'entraînement de l'utilisateur sont des facteurs permettant de diminuer l'incidence de ce type d'événements.

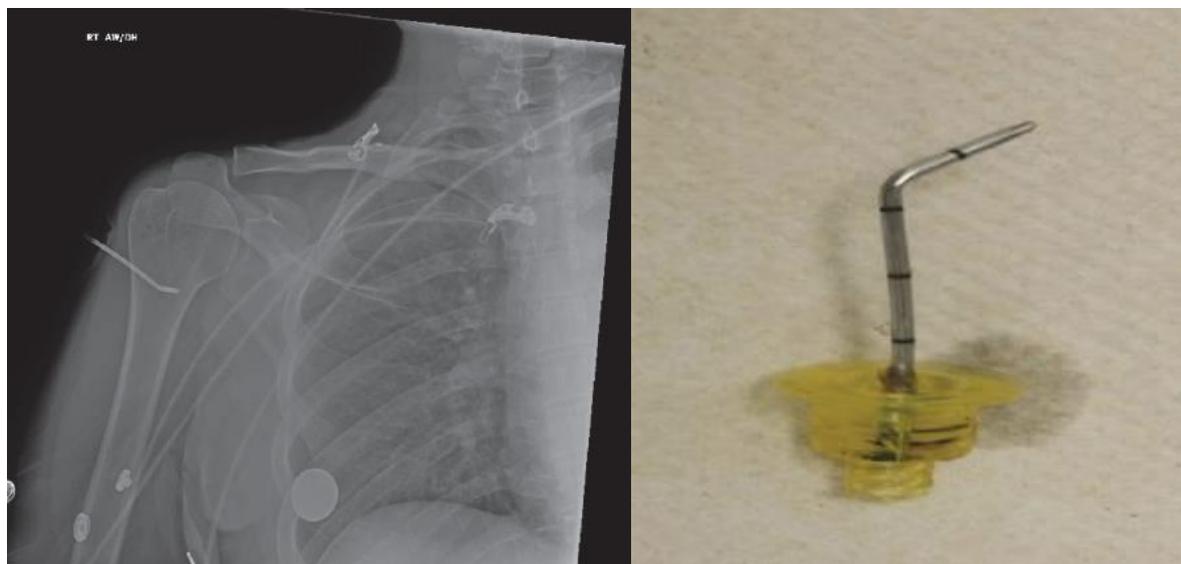


Figure 102 - Radiographie de l'épaule droite avec une aiguille intra-osseuse courbée dans la tête humérale et une photographie d'une aiguille EZ-IO® courbée et extraite chirurgicalement(166)

- Transfixions et fractures osseuses : plusieurs cas de fractures ont été documentés dans la littérature(62,167,168). Une mauvaise prise de repères augmente ces risques. La transfixion est plus fréquente pour les DM manuels chez les nouveau-nés ou en gériatrie chez des patients ostéoporotiques. En effet, elles sont dues à une insertion trop profonde ou avec trop de force physique. Ce risque est proportionnel avec la taille de

trocart utilisé : plus le trocart est large, plus le risque sera élevé(169). Il peut également y avoir une fracture lors de l'injection du bolus si la quantité administrée est trop importante ou effectuée beaucoup trop rapidement. Une transfixion sternale peut aboutir à des conséquences graves voire fatales notamment en pédiatrie et en néonatalogie : lésions cardiaques, péricardiques ou de la crosse aortique. La littérature a rapporté de multiples cas mortels(136,170–172).

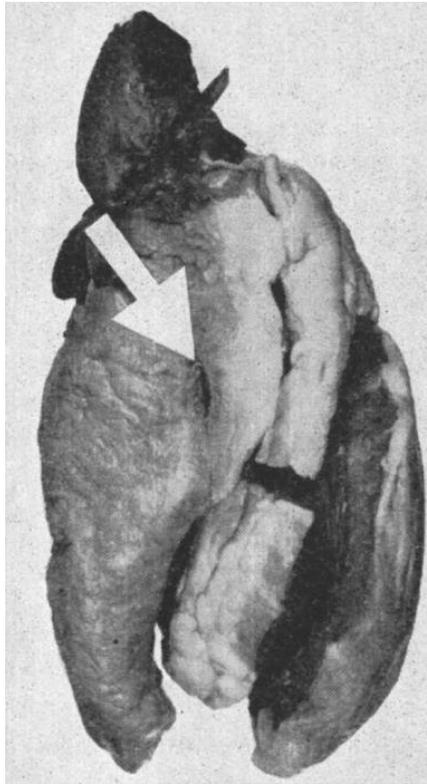


Figure 103 - Photographie d'un cœur présentant une lacération cardiaque antérieure de 0,6 cm à travers la chambre ventriculaire droite suite à une ponction sternale effectuée sur un homme de 23 ans(136)

- Lésions de la plaque de croissance épiphysaire : ce risque est certes présent en pédiatrie mais n'a pourtant jamais été formellement prouvé cliniquement ou à partir de radiographies osseuses(173). Une étude a conclu qu'il n'y avait pas de différences de longueur de tibias sur lesquels avait été posé une VIO en comparaison avec des tibias non cathétérisés(174).
- Appréciation erronée de la longueur d'aiguille nécessaire : cette erreur est fréquente pour des patients en surpoids ou obèses. Elle résulte d'une mauvaise estimation de l'épaisseur des tissus sous-cutanés mais peut être rapidement corrigée par le choix d'une aiguille IO plus longue.
- Blessures du soignant ou du patient : c'est un danger bien réel et pourtant fréquemment minimisé. Il est recommandé de ne pas placer sa main sous le membre trocardé ou en regard du site de ponction afin d'éviter de potentielles blessures par transfixion. Ce risque est très élevé pour les DM avec percussion.

Certains facteurs de risques sont patients-dépendants :

- Déplacements et déperforations du cathéter : cela se produit lorsque l'aiguille IO devient mobile et adhère moins bien, ou n'adhère plus, au site d'insertion osseux. L'aiguille peut également pénétrer trop ou pas assez en profondeur dans le tissu osseux ; ce dernier cas étant le plus fréquent et est souvent dû à une longueur d'aiguille trop courte ou un excès de tissus sous-cutanés en regard du point d'insertion. Les déperforations accidentelles sont le plus souvent le résultat combiné des mouvements d'un patient agité, conscient ou inconscient, et d'une mauvaise position du trocart. Très fréquent avec les dispositifs manuels lors d'une prise en charge préhospitalière, elles peuvent également être la conséquence d'une erreur de manipulation ou de transport par les soignants. Les patients agités, confus, séniles, avec des antécédents psychiatriques ou les jeunes enfants doivent être surveillés afin de prévenir toute déperforation volontaire.
- Obstruction de l'aiguille : l'obstruction est la conséquence d'une coagulation sanguine ou d'un excès de tissu osseux ou fibrineux(133,175,176). Certains patients ont une haute densité de moelle osseuse associée à une faible cavité médullaire. Ainsi la perfusion IO devient difficile de part une obstruction mécanique à l'écoulement. Ce risque a été estimé à 8,8 %(177).

Parfois les dispositifs médicaux sont aussi mis en cause :

- Dysfonctionnement de la perceuse (batterie déchargée, rotation non fonctionnelle) ou du dispositif de percussion (défauts du ressort d'entraînement ou du système de sécurité). Ce risque a été estimé à moins de 1 %(76).
- Défaut de qualité de lots et défaut de fabrication : matériaux de mauvaise qualité ou erreur d'assemblage sur la ligne de production compromettant le fonctionnement du dispositif ou aboutissant à une casse.

Le facteur environnemental peut également être une cause d'échecs de poses :

- Conditions climatiques et géographiques : températures extrêmes, haute montagne, secours en mer, etc...
- Contextes sociaux : attroupements, milieux défavorisés, etc...
- Interventions en conditions NRBC

2. Risques physiologiques

- Extravasation : il s'agit de la complication la plus fréquente tous âges confondus résultant du passage de médicaments ou de solutés en périphérie de la zone d'insertion et donc en dehors de l'accès vasculaire. Une étude publiée par le Dr Fiorito en 2005 met en évidence une incidence de 12 % pour cet effet indésirable(145). En effet, les infiltrations sous-cutanées, et occasionnellement sous-périostales, sont les plus courantes(7,178).

L'extravasation peut aboutir à une nécrose des tissus musculaires et sous-cutanés. Cependant, dans la grande majorité des cas, aucune conséquence grave n'est observée pour le patient. Avec une forte pression de perfusion, l'extravasation peut aboutir à un syndrome des loges, puis une nécrose cutané-osseuse et à l'amputation. Les signes d'extravasations observés sont des œdèmes ou des ecchymoses sous-cutanés, une douleur et une rougeur au point d'insertion, une coloration des tissus superficiels et une diminution de la perception des pouls distaux.

Une position incorrecte du trocart est une des étiologies principales. De ce fait, elles sont moins fréquentes avec des dispositifs motorisés en comparaison des dispositifs manuels ou à percussion au vu de l'insertion guidée et précise à pression constante. C'est pour cette principale raison qu'il est nécessaire de bien maintenir le trocart après la pose par un système stabilisateur, fourni avec le dispositif, ou un adhésif simple.

Il est à noter qu'un site osseux déjà perfusé, même anciennement, est plus à risque d'extravasations car la reminéralisation peut laisser entrevoir une cicatrice osseuse vers les tissus sous-cutanés. Il est donc conseillé de varier les sites d'insertions si le patient a déjà reçu une perfusion IO. Au moindre doute d'extravasations, le dispositif IO doit être retiré dans l'intérêt du patient.

- La douleur : lors de la pose d'un cathéter IO, elle a été évaluée comme faible sur la base d'une échelle visuelle analogique (EVA) à 2,4/10 sur 125 patients lors d'une pose par EZ-IO(179). Elle est par contre nettement plus importante lors du bolus de NaCl avec une évaluation de la douleur à l'EVA de 8 à 9/10 lors des essais sur 250 patients sans administration de lidocaïne(162). L'EVA était redescendu à 2 - 3/10 avec une dose appropriée d'anesthésiant(142). La pression est un facteur augmentant la douleur. Cette dernière est provoquée par la stimulation rapide des capteurs de pression intramédullaire, de ce fait il faut éviter de faire des injections trop rapides chez le sujet conscient. Une étude de Davidoff sur 36 patients a démontré également une douleur à l'EVA de 5/10 lors du bolus pour les patients présentant un score de Glasgow supérieur à 8(162). Il existe donc une douleur modérée au franchissement de la corticale osseuse et une douleur forte au moment du bolus. Il a été évalué que la voie tibiale était plus douloureuse que la voie humérale(180). La douleur au retrait du dispositif a été évaluée entre 1,2 et 3,3 à l'EVA(162).

- Céphalées, nausées et vomissements : ils sont assez fréquents mais leur origine pourrait être potentiellement causée par la pathologie ou les traumatismes primaires du patient et ne serait probablement pas un réel effet indésirable de la pose ou de la perfusion IO.
- Thromboses sanguines : seulement deux cas pédiatriques de thrombose de l'artère poplitée avec nécrose puis amputation ont été décrits dans la littérature(182,183).
- Les embolies osseuses, gazeuses et graisseuses sont possibles mais sont considérées comme exceptionnelles dans des bonnes conditions de ponctions. Elles n'ont pas beaucoup été documentées chez l'homme(151,184) mais plutôt chez l'animal(20,175). Chez l'homme, aucun cas d'embolies graisseuses n'a été formellement rapporté avant l'âge de 6 ans car la moelle est majoritairement hématopoïétique pendant l'enfance. Au vu de la pression positive dans la cavité intraméduillaire, le risque d'embolie gazeuse est rare et n'a été que peu décrit(185). Nonobstant, il persiste un risque d'embolie cérébrale plus élevé chez les patients avec des cardiopathies congénitales de type communication intracardiaque pour lesquels une VIO est utilisée(186).

B. Complications à distance de la pose

Bien que la fréquence de survenue de complications soit assez faible, les complications à distance de la pose peuvent être sévères. Par ailleurs, les principaux risques mécaniques sont susceptibles de survenir également à distance du geste de mise en place : délogement et déplacement du cathéter, extravasations, fracture en regard du site d'insertion (très rare à posteriori du geste(14)) ou traumatisme lors du retrait.

- Syndrome des loges : cette complication directement consécutive à une extravasation est très rare et n'a été que peu décrite dans la littérature en association avec une perfusion IO(187–189). Les médicaments injectés par VIO se retrouvent dans des espaces confinés appelés « loges » et compriment les tissus musculaires, les nerfs et les vaisseaux jusqu'à la nécrose.

Les facteurs de risques additionnels sont un débit de perfusion et un volume de fluide administré élevés, une fracture osseuse, un mauvais positionnement du trocart IO, la perfusion d'un produit hypertonique non dilué et des antécédents de perfusions osseuses dans le même os. Une intervention chirurgicale (aponévrotomie) afin de relâcher la pression interne est alors requise. Après un délai de 4 heures sans vascularisation des tissus adjacents, le risque d'amputation augmente proportionnellement au temps.



Figure 104 - Photographie d'un syndrome des loges post-extravasation chez un nourrisson de 3 mois suite à une perfusion IO tibiale(189,190). Une aponévrotomie d'urgence n'aura pas permis d'éviter l'amputation totale de la jambe.

- Infections cutanées et osseuses : elles sont peu fréquentes avec une prévalence à 0,6 % des poses(178). Après une à deux heures de perfusions IO, le risque de complications infectieuses est croissant et il est estimé qu'une réévaluation de la prolongation de perfusion IO quotidienne est toujours nécessaire(190). En effet, et comme toutes les autres voies d'administrations vasculaires, plus une perfusion IO est longue et plus le risque de complications infectieuses est élevé(11). Une périostite peut se développer mais est la plupart du temps transitoire avec une guérison en général en 2 à 3 semaines(178). La grande majorité des infections apparaissent lors d'un maintien prolongé d'une perfusion intra-osseuse, de la mise en place d'une VIO sur un patient avec une bactériémie préexistante ou d'un patient qui a reçu des solutés hypertoniques(178). Cependant, les complications infectieuses tendent à diminuer avec le développement de nouveaux matériaux limitant l'adhérence bactérienne.
- L'ostéomyélite : Elle est considérée comme la complication la plus fréquente après l'extravasation selon certaines études avec une incidence comprise entre 0,6 et 1 %(14,89,178,181). Le risque est majoré si un dispositif manuel est utilisé mais se rapproche de zéro si un dispositif motorisé est employé(178). Le risque d'ostéomyélite augmente quand la mise en place est supérieure à 24 heures : un manque d'asepsie peut également être en cause(181). L'origine peut être de type hémotogène ou chimique, de par la perfusion de médicaments hypercalcaïques ou hypertoniques. La perfusion IO prolongée, associée à la répétition d'injections de médicaments fortement concentrés, augmenterait le risque de développement d'ostéomyélite : les solutés hypertoniques sont fortement soupçonnés(14). Une intervention chirurgicale de

drainage et un traitement antibiotique par bêta-lactamines ou vancomycine pourront être entrepris. Elle peut conduire à un retard de croissance surtout chez les enfants mais n'a que rarement été décrite chez l'adulte dans la littérature(178).

- Ostéonécrose et nécrose cutanée : elles sont consécutives d'une extravasation, d'une ostéomyélite ou d'une infection. Des cas cliniques ont été décrits dans la littérature suite à l'administration de très fortes doses d'adrénaline(191,192).
- Cellulite et abcès sous-cutanés : ce sont également des conséquences de l'extravasation, reportés dans 0,7 % des cas de complications(193). Un traitement antibiotique empirique par bêta-lactamines contre les streptocoques du groupe A et le staphylocoque doré sera prescrit dans cette intention.
- Pneumothorax, hydrothorax et médiastinite sont des complications spécifiques de la voie sternale.

Malgré la variété des complications possibles, leur fréquence est relativement faible et le rapport bénéfices/risques demeure favorable à une utilisation de la VIO.

VI. Données pharmacologiques et pharmacocinétiques

A. Administration des médicaments par VIO

Aucun médicament ne dispose officiellement d'Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) pour une utilisation par voie intra-osseuse. Néanmoins, il n'existe pas de contre-indications formelles d'administration de médicaments par VIO dans l'indication de la réanimation cardio-pulmonaire(14). Les médicaments n'ont jamais été évalués pour cette voie d'utilisation dans leurs résumés de caractéristiques du produit (RCP). Néanmoins les quelques essais pratiqués sur l'homme en phase IV, ou chez les animaux, n'ont à ce jour pas démontré de différences pharmacodynamiques ou pharmacocinétiques significatives avec la voie IV(194,195).

La règle générale stipule que tous les médicaments injectables par voie intraveineuse peuvent être administrés par voie intra-osseuse à la même dose. Exception faite des cytotoxiques, qui sont la seule classe pharmaceutique formellement contre-indiquée par voie intra-osseuse. En effet, la cytotoxicité de la plupart de ces molécules entraînerait une potentielle lyse des précurseurs érythrocytaires et une nécrose des tissus osseux.

Il est cependant préférable de mettre en place certaines précautions et de détailler certaines particularités de l'administration de thérapeutiques par VIO :

- ❖ Une irrigation entre chaque médicament avec 10 à 20 mL de NaCl 0,9 % est indispensable afin d'administrer la totalité de la dose thérapeutique restante dans le volume mort du cathéter et ne pas favoriser la précipitation entre deux molécules incompatibles.

- ❖ Une dilution des produits hypertoniques ou alcalins est fortement conseillée afin d'éviter de potentielles lésions de la moelle osseuse(196) et une ostéomyélite chimique(26).
- ❖ Le débit de perfusion doit être lent pour les produits visqueux dans le but de ne pas provoquer de thrombus(26). L'administration de solutés en débit libre est contre-indiquée à cause du risque de résistances osseuses et d'échec de perfusion.
- ❖ L'administration de volumes de remplissage rapide doit être fait à la seringue, pour un patient dont le poids est inférieur à 10 kg, ou à la manchette à pression pour un patient avec un poids supérieur.
- ❖ Plusieurs études ont démontré l'efficacité de l'anesthésie locale et systémique chez des enfants et des adultes par VIO(197–199).
- ❖ L'alimentation parentérale IO n'a pas été étudiée et n'est pas considérée comme une urgence vitale. En tant qu'urgence relative, une voie veineuse peut être posée à posteriori(200).
- ❖ Les culots globulaires(42,200,201), les produits dérivés du sang(42), le plasma(151,178), le serum(200), les cristalloïdes, les colorants et les produits de contrastes(41,44,202) peuvent être administrés par VIO. Le temps de perfusion conseillée est de 15 à 30 minutes pour les produits dérivés du sang et pour les poches de culots globulaires(203).
- ❖ L'éthanol peut être utilisé uniquement par voie IO tibiale proximale dans le cas d'un patient intoxiqué au méthanol(89).
- ❖ L'induction IO d'une hypothermie par perfusion de chlorure de sodium à 4,5°C est possible(204).
- ❖ L'épinéphrine, la lidocaïne, l'atropine et les solutés de réhydratation ont été validés pour une utilisation IO spatiale en état d'impesanteur(85).

Après une enquête auprès des pharmacies à usage intérieur (PUI) du Sud-Ouest (détaillée dans les chapitres ci-dessous), il est apparu qu'environ 80,4 % (n=38) des hôpitaux ne possèdent pas de liste de médicaments ou de protocoles d'administration de médicaments par VIO. Une revue complète de la littérature a donc été entreprise du 10/03/2020 au 15/05/2020 afin de recenser les molécules utilisées par VIO lors des différents essais cliniques médicamenteux publiés chez l'homme et les animaux. Un tableau synthétique des médicaments étudiés en perfusion IO a été édité et est présenté en annexe n°3.

B. Pharmacocinétique intra-osseuse

La pharmacocinétique des médicaments administrés par VIO est très proche de celle de la voie intraveineuse. En effet, un produit perfusé en intra-osseux atteint le ventricule droit en 2,5 à 10 secondes selon le site d'injection utilisé et le rythme cardiaque du patient(43). Les

facteurs limitant la diffusion dans l'espace intra-osseux sont principalement : la taille de la molécule, son type de fixation protéique, son PKa/pH et son degré d'ionisation moléculaire. Presque toutes les substances perfusées par voie intraveineuse peuvent être injectées dans la moelle osseuse où elles diffusent alors immédiatement vers la circulation systémique(11).

Ainsi donc les doses d'administrations IO des médicaments sont identiques à celles utilisées pour les autres accès vasculaires. En pratique, il existe une infime perte de produits : la dose reçue est légèrement inférieure à la dose administrée de part une séquestration osseuse locale jugée minime. La plupart des études permettent de conclure que la pharmacocinétique de la VIO est globalement identique à la pharmacocinétique de la voie IV. Cependant, la vitesse de distribution intra-osseuse peut être légèrement différente selon la localisation anatomique du site d'administration. En effet, il a été démontré que de l'adrénaline administrée par voie tibiale était moins rapidement efficace par rapport à une administration par voie sternale ou par voie humérale : l'écart de temps d'efficacité pouvait atteindre au maximum une minute(26). Ceci pourrait être dû à la localisation anatomique éloignée du cœur pour une administration intra-tibiale alors que le drainage veineux sternal est plus efficace vers la veine cave.

Une comparaison pharmacocinétique de la VIO versus IV chez l'homme a été entreprise en 2008 en se basant sur le sulfate de morphine chez 25 adultes: les résultats ne démontraient pas de différences entre ces deux types d'accès vasculaires excepté une augmentation du volume de distribution sur la voie intra-osseuse ($4,8 \pm 1,7$ L/kg versus $3,6 \pm 1,4$ L/kg, $p=0,02$)(205). En effet, la concentration plasmatique maximale atteinte, le temps pour atteindre la concentration maximale et l'aire sous la courbe de la relation concentration/temps étaient identiques. Cependant, l'étude sur une seule molécule ne peut pas à elle seule être concluante et s'étendre à l'ensemble des médicaments et à leurs spécificités physico-chimiques et pharmaco-chimiques propres. Un essai clinique dénommé « PARAMEDIC2 » a démontré qu'il n'y avait pas de différence entre l'administration d'adrénaline IV versus IO. Aucune différence n'a été détectée dans l'effet du traitement selon la voie d'accès utilisée sur la mortalité observée à 30 jours(206).

Pour certains médicaments, l'administration d'un bolus dans la cavité médullaire engendrerait un effet retard pendant lequel la diffusion du principe actif serait limitée. Ainsi l'augmentation de la concentration médicamenteuse sanguine serait temporairement ralentie. Cet effet retard pourrait être dissipé par l'administration d'un bolus de 3 à 10 mL de NaCl 0,9 % après le médicament(175,178). Il aurait été notamment constaté avec des antibiotiques tels que la ceftriaxone, le chloramphénicol, la phénytoïne, la tobramycine et la vancomycine : le pic de concentration observé était ainsi moins élevé(207,208). Pour ces médicaments il est donc préconisé de faire un suivi thérapeutique pharmacologique de la concentration *in vivo*.

Concernant la cinétique de la voie veineuse centrale et de la VIO sternale, la seule étude pharmacocinétique publiée à ce jour démontre des pics de concentrations (C_{max}) et des temps au pic de concentration (T_{max}) identiques(26). Par rapport à la voie intraveineuse périphérique, les VIO sternale et humérale avaient également des valeurs C_{max} et T_{max} proches(143,209) alors que la VIO tibiale paraissait avoir des valeurs abaissées sur quelques études(143,210). Une autre étude démontre la différence statistiquement significative dans les C_{max} obtenues par VIO sternale et tibiale comparées à la voie IV. Le Dr Burgert cite comme exemple que la concentration veineuse maximale après administration de 1 mg d'épinéphrine est 5,87 fois plus importante qu'après une administration tibiale, et environ 2,86 fois plus grande après une

administration sternale(203). Le Tmax est également statistiquement différent entre une administration IV et une administration IO tibiale cependant la VIO sternale n'aurait, par contre, pas de différence significative avec la voie IV. De ce fait, cela confirme que la voie sternale est considérée comme la voie la plus rapide car anatomiquement la plus proche du cœur.

En 1979, Shoor est le premier à étudier les cinétiques de deux médicaments administrés par VIO tibiale chez des veaux : l'épinéphrine et l'éphédrine(6). Il constate ainsi que le débit IO d'une solution saline à travers un trocart de 13 G est de 10 mL/min avec une gravité simple et que le temps de réponse d'augmentation de la pression artérielle est de 17 secondes après une perfusion d'épinéphrine. Il constate également qu'une purge préalable des cathéters par 3 à 5 mL de sérum physiologique permet d'améliorer le débit de perfusion. Le débit de perfusion intra-osseux fut mesuré entre 3,3 mL/min et 165 mL/min(211).

Les débits de perfusion sont grandement améliorés par l'utilisation de poches de contre-pression à 300 mmHg(6). On estime alors que ce débit est multiplié par 2 si une manchette à pression est employée. A contrario, une pression appliquée supérieure à 600 mmHg peut engendrer une extravasation. De même, il ne faut pas utiliser de pompes à perfusions car elles ne permettent pas un contrôle optimal de la pression appliquée et peuvent donc ainsi limiter le débit. Le calibre du cathéter employé est un facteur non négligeable du débit final.

Accès intra-osseux	Débit estimé (en mL/min)	Sources
Huméral	11 à 117	(44,128)
Sternal	35 à 125	(6)
Tibial proximal	10 à 58	(44,128)
Tibial distal	5 à 12	(147)
Malléolaire	5 à 12	(147)
Claviculaire	12	(152)

Tableau 2 - Débits des voies intra-osseuses (avec manchette à pression réglée à 300 mmHg)

VII. La perfusion intra-osseuse : état des lieux

A. La VIO dans tous ses états

1. Les urgences vitales et polytraumatisés

Dans des situations d'urgence vitale, la VIO permet la diffusion accélérée de produits médicamenteux vers la circulation générale avec une moyenne de l'ordre de 10 secondes : l'efficacité est alors comparable à celle de la voie veineuse périphérique. Les sites d'insertions privilégiés en première intention sont le tibia proximal, l'humérus proximal et le tibia distal.

L'arrêté du 10 février 2009, fixant les conditions exigées pour les véhicules et les installations matérielles affectés aux transports sanitaires terrestres, stipule que les dispositifs de cathétérisme intra-osseux adulte et pédiatrique sont essentiels et réglementaires dans la

prise en charge préhospitalière des patients. À ce titre, ce type de dispositif doit être inclus dans tous les véhicules de catégorie A type C (ambulance de secours et de soins d'urgence conçue et équipée pour le transport, le soins intensifs et la surveillance des patients) selon l'article R. 6312-8 du Code de la Santé Publique et de la norme NF EN 1789(212). L'annexe n°4 présente et détaille les dispositifs médicaux essentiels de réanimation à l'intérieur de ces véhicules (un DM IO est cité).

2. La question de la gériatrie

Les patients âgés possèdent un système veineux plus difficilement accessible que les sujets jeunes. De plus, l'opposition aux soins de certains de ces patients peut avoir pour conséquence un arrachement de la perfusion avec un risque de blessures avérées pour le patient et le personnel mais également un risque supplémentaire d'accident d'exposition au sang pour les soignants. La voie sous-cutanée est actuellement la plus utilisée pour pallier à la déficience de la voie intraveineuse, notamment pour l'administration des solutés de réhydratation. Cependant, l'utilisation d'une voie intra-osseuse pourrait devenir également intéressante dans certaines indications fréquentes chez le sujet âgé : réhydratation, coma diabétique acidocétosique, insuffisance rénale terminale ou des troubles métaboliques.

Les VIO tibiales proximales et distales ne sont pas conseillées chez le sujet âgé du fait d'un risque ostéoporotique plus élevé, de la faible épaisseur corticale du sujet âgé au niveau tibial et du besoin de maintenir une mobilisation des membres inférieurs(120). L'utilisation d'une voie IO humérale serait privilégiée chez le sujet âgé. Ce positionnement serait par ailleurs moins accessible et plus résistant à l'arrachement les patients atteints de démences.

3. La pédiatrie et la néonatalogie

Il a été calculé que la mise en place d'une voie IV nécessitait plus de 10 minutes dans 24 % des cas pédiatriques d'ACR et qu'elle était impossible dans 6 % des ACR(213). Pour être optimale et bénéfique, une VIO doit être mis en place en moins de 5 minutes chez l'enfant(87).

En pédiatrie, les dispositifs manuels sont plus souvent utilisés au vu de la multitude de sites de ponctions possibles. En 2016, une étude a évalué l'utilisation des DM IO chez les enfants : environ 60 % des dispositifs médicaux utilisés étaient manuels et 40 % étaient motorisés (EZ-IO®)(214). Cependant, comme évoqué précédemment, les DM manuels ont le défaut d'avoir un taux d'échecs élevé.

Au Royaume-Uni, le réseau d'audit en traumatologie a mené une étude entre 1988 et 2003 afin de déterminer les différents types de prises en charge pédiatriques : sur 23 489 enfants, 129 (soit 0,55 %) ont été pris en charge avec pose d'une voie intra-osseuse(215). En 2000, une autre étude a démontré que 74 % des centres médicaux des urgences du Royaume-Uni avaient des connaissances théoriques de la prise en charge par voie intra-osseuse mais que seulement 7 % d'entre eux l'utilisaient en pratique courante(216).

Chez le nouveau-né, la pose d'une VIO doit être si possible limitée à moins de 24h. Cet accès est intéressant chez les enfants dont les fontanelles sont soudées ou sans veine ombilicale

accessible. Il est supposé que la VIO serait plus rapide et la pose plus simple par rapport à un accès veineux ombilical lors de la naissance et de la réanimation néo-natale(217).

La déshydratation aiguë est fréquente en pédiatrie, notamment en pédiatrie tropicale, et est une cause de décès courante chez les enfants de moins de 5 ans. Une réhydratation est alors impérative devant un état de choc, de collapsus périphérique ou de signes cliniques préoccupants. La réhydratation par voie IO sur une période courte de 12 à 24h peut donc être utilisée notamment si la VVP est difficilement accessible : ce fût le cas par exemple lors d'épidémies de choléra en Asie et en Afrique. L'utilisation est aussi limitée à 24h vis-à-vis du risque septique(218).

Les voies d'accès privilégiées chez l'enfant sont par ordre de priorité : le tibia proximal, le tibia distal, le fémur distal et la tête humérale (réservée aux enfants > 5ans et avec un DM motorisé). Le tibia proximal est statistiquement le site le plus utilisé d'après la littérature(21,79,80,219). Le tibia distal est employé si le tibia proximal est impénétrable après plusieurs échecs de poses. Le cortex de l'os tibial distal est très fin au niveau de la malléole médiale et est proche de la veine saphène ; le geste de pose doit être précis afin de ne pas léser ces parties. En 2015, Mogale et al. ont confirmé que la voie humérale est un site d'accès alternatif fiable pour les nouveau-nés(220).

Autrefois utilisés, le sternum et l'épine iliaque antérosupérieure sont maintenant des sites d'administration déconseillés. De plus, il n'est pas recommandé d'administrer des produits dans l'espace intra-médullaire sternal des enfants de moins de 3 ans(221) : l'insertion d'un DM dans le sternum d'un enfant de cet âge est considérée comme techniquement très difficile mais également très dangereux compte tenu des risques élevés de ponction médiastinale.

Plusieurs chercheurs ont également conclu qu'une perfusion IO chez l'enfant n'a pas d'effets délétères sur le plateau de croissance osseux ainsi que sur la structure et la composition de la moelle osseuse (200,222). L'insertion chez l'enfant au niveau du cartilage de conjugaison n'entraîne pas de troubles ou d'anomalies sur la croissance osseuse(11,20,200). Par ailleurs, il n'y aurait pas d'effets à long terme sur l'architecture osseuse de la perfusion de médicaments par VIO(174,223). Ces résultats nous confortent dans l'optique d'une utilisation pédiatrique de la VIO.

4. Et pourquoi pas en oncologie ?

L'application de la voie intra-osseuse pour les patients inclus dans un cadre de soins oncologique peut se poser. En effet, avec le vieillissement de la population et l'allongement de l'espérance de vie, la progression de l'activité d'oncologie gériatrique ne fait guère de doutes dans les années à venir. Ces patients sont également beaucoup plus exposés à une utilisation d'une VIO, notamment au vu de leur capital veineux diminué suite aux nombreux examens biologiques et aux perfusions. De plus, les données de qualité de vie sont dorénavant un facteur majeur de la prise en charge oncologique et gériatrique.

Comme évoqué précédemment, c'est avec ces intentions que le dispositif médical OsteoPort® fût développé dans les années 1990 aux Etats-Unis (USA). Ce dispositif était à l'origine destiné à l'administration de chimiothérapies par voie-intra-osseuse, cependant le

projet fût abandonné suite à la découverte d'une héματο et myélotoxicité trop importante des chimiothérapies administrées par cette voie chez l'animal(109).

Pourtant, une étude relate la possibilité d'administration intra-osseuse locale de paclitaxel au niveau de tumeurs métastatiques osseuses. Un système de diffusion de médicaments est fabriqué à partir d'un composite d'hydroxyapatite/alginate couplé à du paclitaxel : ceci permet au complexe de posséder des propriétés ostéoconductives optimales et une bonne affinité avec le tissu osseux. L'alginate permet la formation d'un hydrogel afin de faciliter l'administration locale par injection radioguidée. Il n'y eut pas de diffusion systémique du paclitaxel pendant toute l'étude. A la fin de l'essai, une augmentation de 150 % de la survie sans progression de la maladie fût observée chez le rat(224). Néanmoins, une étude sur l'homme n'est pas envisagée pour le moment.

De nos jours, il demeure donc formellement contre-indiqué d'administrer des chimiothérapies par voie intra-osseuse au vu du risque élevé d'extravasations avec nécroses osseuses et cutanées et de toxicité hématologique.

5. La biologie médicale

Un dispositif intra-osseux peut être utilisé pour le prélèvement sanguin dans des situations critiques pour lesquelles aucun autre type d'échantillon n'a pu être obtenu afin d'apporter une contribution supplémentaire au diagnostic médical. L'idéal est alors d'effectuer des prélèvements avant toute administration de médicaments et de solutés.

La technique de prélèvement pour analyses biologiques est codifiée par des protocoles stricts : suite à la mise en place de l'aiguille ou du trocart intra-osseux, une aspiration immédiate de 3 à 5 mL de sang est pratiquée puis jetée car susceptible de contenir des débris osseux pouvant abimer les automates de dosages. Une autre aspiration de 3 à 10 mL est effectuée puis transférée dans des tubes pour analyses. L'aspiration est désagréable voir douloureuse pour le patient, même sous anesthésie locale. Ces prélèvements doivent être clairement identifiés comme provenant d'une voie intra-osseuse et transportés comme un prélèvement sanguin conventionnel. A noter qu'un prélèvement IO pour analyse biologique ne peut se pratiquer qu'immédiatement après insertion de l'aiguille. En effet, l'injection de solutés ou de médicaments peut fausser les analyses à posteriori.

Théoriquement, la plupart des analyses sanguines classiques sont possibles : hémoglobine, hématocrite, bilan électrolytique, bilan hépatique, groupage sanguin, glucose, albumine, protéines, créatinine, lactate, urée, PCO₂, pH sanguin, gamma-GT(225,226). L'étude de Strandberg en 2019 a cependant spécifié que les taux de lactate et de glucose mesurés pouvaient être significativement différents selon l'origine de l'échantillon à analyser : ces taux semblent augmenter avec l'hypovolémie pour l'échantillonnage intra-osseux. L'analyse des lignées myéloïdes demeure possible avec une bonne fiabilité. Les nombres leucocytaire et thrombocytaire doivent être analysés avec précaution car potentiellement surévalués. Les prélèvements les plus fiables, comparés aux valeurs obtenues en IV, sont la glycémie et le pH. La PCO₂, la PO₂ et les bicarbonates sont par contre significativement différents selon l'origine de l'échantillon IO ou IV. La troponine I a été comparée selon l'origine de l'échantillon osseux

ou veineux mais il n'a pas été possible de conclure sur la bonne corrélation de ce paramètre biologique(227).

La biologie est en général interprétable comme du sang. La moelle peut aussi être utilisée pour des recherches de germes par cultures, de type hémocultures, ou encore comme épreuve directe de comptabilité (cross-matching) pour la recherche d'anticorps irréguliers sanguins(226). La gazométrie est par ailleurs possible mais les résultats doivent être interprétés avec précaution car le risque d'endommager les automates de gazométrie et de fausser les résultats par les échantillons intra-osseux est relativement fréquent(226,227,228).

Une étude, faite sur des cochons, propose également la possibilité de doser la concentration morphinique à partir d'échantillons IO pour les patients pris en charge pour overdose(229) : cependant dans les résultats observés, la concentration sanguine était néanmoins plus élevée que la concentration intra-osseuse.

Analyse des paramètres et valeurs biologiques	
Bonne corrélation IV/IO	Faible corrélation IV/IO
Albumine	Acide urique
Azote uréique	ALAT/ASAT
Chlore	Bicarbonates
Créatinine	Bilirubine totale
Glucose (<i>sauf hypovolémie majeure</i>)	Calcium
Groupe sanguin ABO et Rh	Gamma-GT
Hématocrite	Érythrocytes
Hémocultures	LDH
Hémoglobine	Leucocytes
Lactates (<i>sauf hypovolémie majeure</i>)	Magnésium
pH	Morphine et dérivés morphiniques
Protéines totales	PCO₂ et PO₂
Urée	Phosphatases alcalines
	Phosphore
	Potassium
	Sodium
	Thrombocytes

Tableau 3 - Corrélation des résultats de tests biologiques effectués à partir d'échantillons intra-osseux versus intraveineux(225–227,230)

En résumé, les échantillons prélevés par voie intra-osseuse peuvent être analysés mais doivent être interprétés avec précautions et réserves. Les primo-résultats obtenus peuvent être pertinents pour l'orientation clinique du diagnostic. Les résultats obtenus par voie IO doivent être recontrôlés à posteriori de l'urgence médicale avec des échantillons veineux ou artériels(225). Il faut toujours tenir compte de la possible présence de tissus osseux et de cellules souches dans le prélèvement qui peuvent théoriquement fausser certains résultats.

6. Usage militaire et lors de situations exceptionnelles : des traumatismes balistiques aux risques NRBC

L'hémorragie aigue est la principale cause de décès sur les champs de bataille. En effet, près de 30 % des soldats blessés décèdent de leurs blessures hémorragiques(231). De ce fait, l'amélioration de la prise en charge préhospitalière de combat est primordiale pour assurer la survie de ces patients à hauts risques de traumatismes, de chocs hémorragiques et de chocs hypovolémiques. La voie intraveineuse apparait au premier abord comme un accès privilégié mais est rapidement confrontée à ses limites. En effet, le patient blessé par balles présente un état d'hypotension beaucoup plus important qu'un patient polytraumatisé et le risque d'hémorragies internes est nettement plus important. Les veines périphériques se collabent et l'accès intraveineux devient très difficile voire impossible. De plus, sans évoquer le contexte de l'environnement de combat, les conditions météorologiques et géographiques peuvent compliquer la méthode et le temps de pose d'une voie veineuse périphérique. Les limites de la voie veineuse sont conditionnées par : le temps minimal requis pour apporter des soins en cas d'échanges de tirs, l'évacuation du patient sur un terrain difficile par voie terrestre ou aérienne et la contamination des potentiels sites intraveineux par des résidus terreux ou des débris.

Au final, la meilleure solution demeure un transport rapide vers un hôpital militaire de campagne ou une structure médicale avancée disposant d'un plateau de réanimation.

La voie sternale est devenue l'accès privilégié par les médecins et infirmiers militaires, notamment en cas de blessures par balles, car elle permet la mobilité des membres inférieurs et supérieurs. Par ailleurs, cette voie d'accès sternale permet une diffusion rapide du fait de la proximité anatomique cardiaque(26). Le Dr Auten a récemment démontré qu'un seul site IO devait être utilisé pour un usage militaire, accompagné dans l'immédiat d'un bolus de 10 à 20 mL de NaCl 0,9 % et d'une transfusion érythrocytaire avec manchette à pression(232). La stabilisation hémodynamique semblerait être obtenue plus rapidement avec ce protocole.

En cas d'impossibilité d'utilisation de la voie sternale, le choix d'un autre site d'insertion dépendra de l'âge du patient et de la localisation de ses blessures. En général les membres inférieurs sont évités d'emblée car il est primordial que le soldat puisse se mobiliser rapidement et également car c'est un des sites les plus fréquents de blessures. Dans certains cas, il est envisageable de poser deux voire trois dispositifs intra-osseux sur des sites différents. Une publication de 2009 fait état de la pose en simultané d'un EZ-IO® en tibial proximal et d'un FAST1 au niveau sternal, puis à nouveau d'un EZ-IO® en humérus proximal(233). Le FAST-1® reste un des dispositifs les plus plébiscités par les forces armées du fait de son ergonomie et de sa mise en place manuelle rapide sans nécessité d'une trop grande expérience médicale(89).

Au cours de la conférence de 2001 sur la réanimation en situation de combat, un consensus a été défini et stipule que la voie IV doit être substituée par la voie IO si cette dernière n'est pas utilisable ou si le temps de pose de cette voie est jugé trop long. Ce consensus prévaut pour toutes situations de réanimation ou de blessures sévères dans le cadre de combat par armes à feu, d'impacts ou d'explosions(234). Un soldat formé en médecine de guerre ou un infirmier de combat peut apporter les premiers soins et dispose des compétences de poses d'une voie intra-osseuse.

Aux USA, plusieurs dispositifs médicaux intra-osseux sont référencés dans les forces armées de l'US Air Force, de la Navy et de la branche médicale des forces spéciales(44).

Au Royaume-Uni, les DM à percussion sont privilégiés ainsi que la voie sternale.

En Israël, seul le BIG® est référencé pour une utilisation par les forces armées de Tsahal et de l'Israeli Defense Force Medical Corps (ce dispositif étant de production israélienne(235)).

En France, le service de santé des armées dispose de dispositifs IO à percussion, préférentiellement pour le combat terrestre, et de dispositifs motorisés EZ-IO® dans les hôpitaux militaires de campagnes et les avant-postes. Par contre, la voie intra-tibiale proximale est toujours privilégiée plutôt que la voie sternale(89). En effet, la voie sternale n'est pas indiquée en première intention dans l'armée française et elle est d'ailleurs complètement abandonnée dans le civil. Depuis 10 ans, BIG® et EZ-IO® sont les seuls dispositifs validés par le service de santé des armées pour une utilisation dans l'armée française.

A propos des risques NRBC, il a été démontré que le port d'une combinaison augmentait le temps de pose d'une VIO lors de l'utilisation d'un trocart manuel mais pas lors de l'utilisation d'un dispositif à percussion(157). Ces derniers doivent donc être privilégiés à défaut d'études complémentaires sur le sujet.

En conclusion, les DM IO sont adaptés à un usage militaire et NRBC car ils disposent d'une grande variété de sites d'insertions, d'une rapidité de pose correcte et d'une relative simplicité d'utilisation par rapport aux DM IV.

B. Le corps médical et paramédical au centre de la prise en charge hospitalière et préhospitalière

Nous avons diffusé un questionnaire en ligne et par messagerie électronique auprès de médecins urgentistes, de réanimateurs, de gériatres, de pédiatres et de leurs internes (hors médecine générale et avec une expérience minimale de 2 années d'internat) exerçant sur les centres hospitaliers publics des régions Nouvelle-Aquitaine et Occitanie. Ce questionnaire, consultable en annexe n°5, nous a permis d'évaluer divers aspects de l'approche intra-osseuse théorique et clinique par le personnel médical. Le recueil des données a été entrepris du 15/10/2019 au 10/03/2020 et a dû être arrêté prématurément au vu du contexte sanitaire pandémique du COVID-19. Soixante médecins et internes ont répondu à l'enquête, 79 % (n=48) d'entre eux déclaraient avoir déjà posé au moins une VIO dans leur carrière.

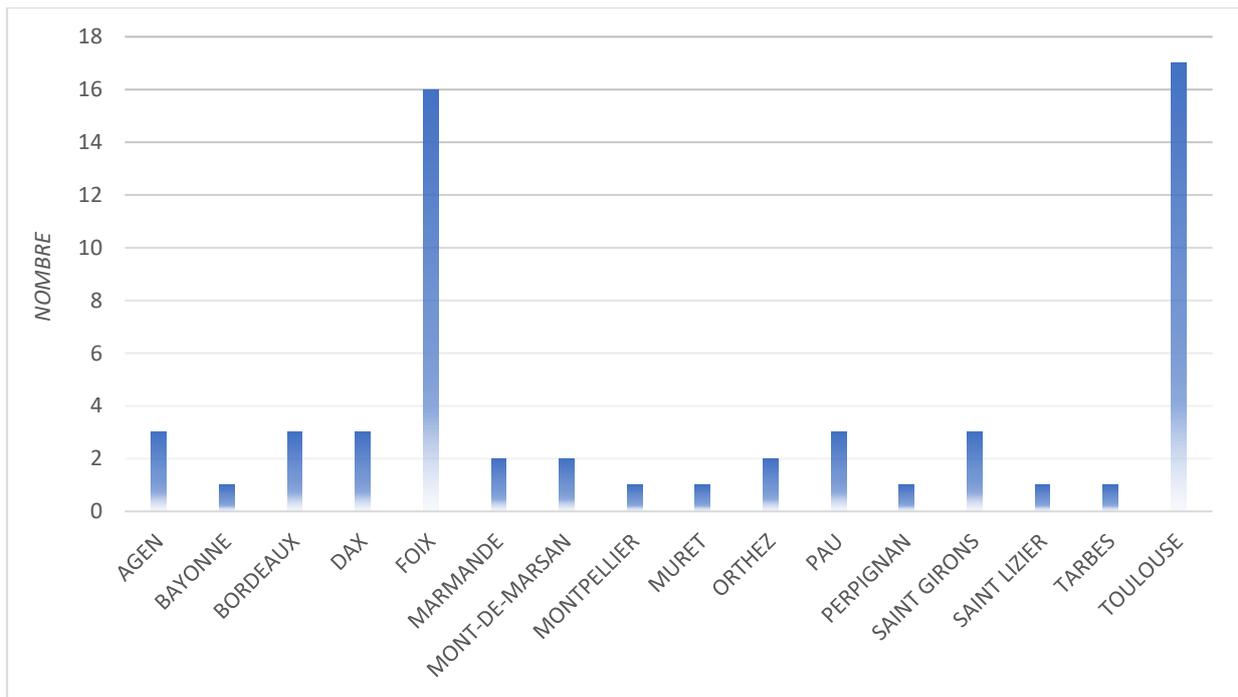


Figure 105 - Répartition géographique interrégionale des médecins et internes participant à l'enquête VIO

La majorité des répondants à l'enquête est issue du centre hospitalier universitaire de Toulouse et du centre hospitalier intercommunal des vallées de l'Ariège à Foix. Ce biais peut s'expliquer par une asymétrie de diffusion de l'enquête auprès des services informatiques locaux.

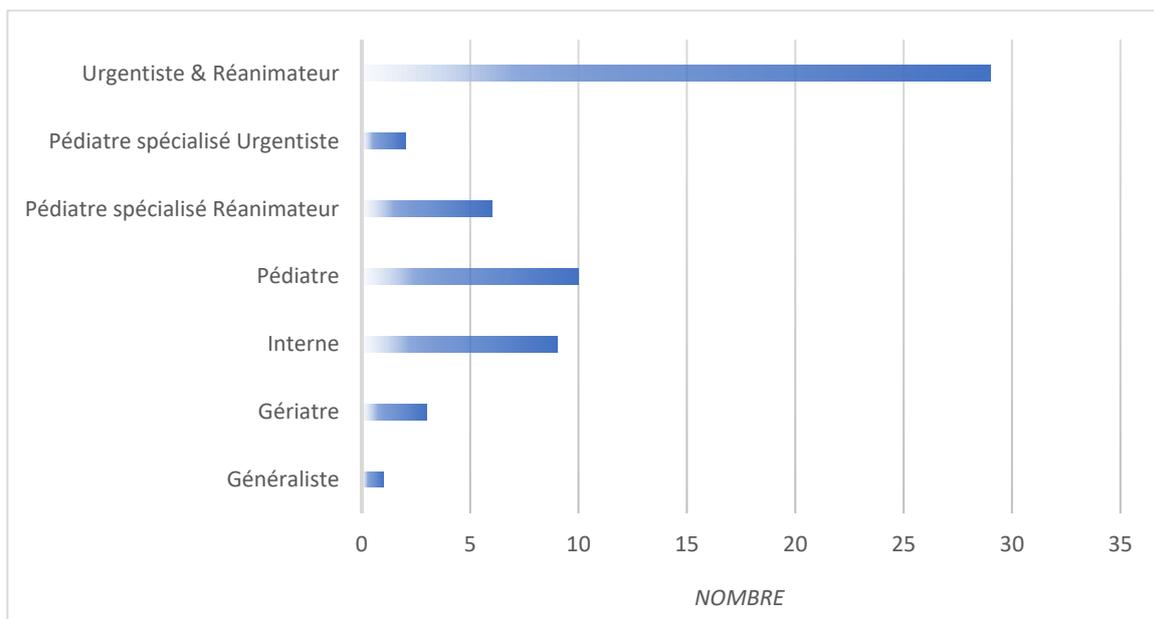


Figure 106 - Répartition des spécialités médicales des participants de l'enquête

Les spécialités médicales les plus représentées sont les urgentistes et réanimateurs (n=29, 48 %) suivies des pédiatres (n=18, 30 %) : ces spécialités sont les plus à même d'être dans une situation clinique où une VIO est requise.

1. De la formation médicale vers la pratique clinique

La VIO est approuvée en France depuis une vingtaine d'année. Cependant, les techniques et l'expérience ne sont pas homogènes dans l'ensemble de la population médicale. En effet, la formation médicale est dépendante de plusieurs paramètres : les facultés, les hôpitaux, l'internat, les entrainements à la simulation en santé et surtout la spécialisation médicale.

a) La formation médicale

i. Formation initiale

Les médecins s'entraînaient déjà à la pose de voies IO sternales sur des cadavres dès le début du XX^{ème} siècle(45). De nos jours, la voie intra-osseuse est très peu enseignée en France au cours de la formation initiale. En effet, seulement 45 % (n=27) des médecins et futurs médecins ont affirmés avoir eu une formation théorique et/ou pratique à la VIO pendant leur internat. Environ 23 % (n=14) ont reçu une formation médicale extrahospitalière (congrès, séminaires), 17 % (n=10) ont été formés par un laboratoire pharmaceutique, 5 % (n=3) ont bénéficié d'une formation interne au sein de leur hôpital et presque 10 % (n=6) n'ont jamais eu un seul enseignement ou formation. Au total pour cette enquête, 90 % (n=54) des répondants ont déclaré être formés à la voie intra-osseuse.

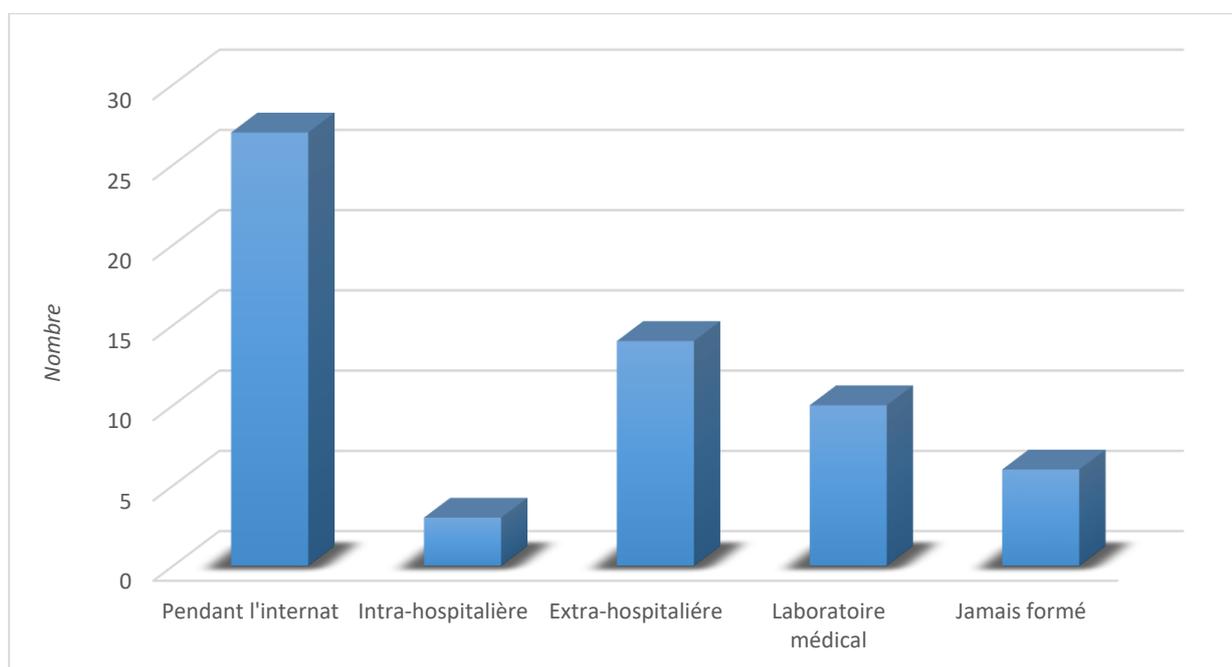


Figure 107 - Origine de la formation médicale intra-osseuse des médecins et internes

A la sortie de l'internat, presque un médecin sur deux n'a pas reçu de formation théorique et pratique sur la VIO. Il faut préciser qu'il y a probablement un biais d'enseignement basé sur l'âge des répondants à l'enquête. En effet, certains médecins en fin de carrière n'auront pas eu la même formation qu'un jeune interne au vu de l'apparition récente de la VIO en France.

En 2016, une étude polonaise démontra que les internes de médecine, exerçant toute ou une partie de leurs activités aux urgences, ne disposaient pas de suffisamment de connaissances pour la mise en place d'une voie intra-osseuse. En effet, seulement 21,7 % des internes déclaraient avoir reçu pendant leur formation médicale des notions théoriques et 6,7 % des notions théoriques et pratiques(236). Ce constat n'est donc pas uniquement français mais probablement européen au vu de l'utilisation récente des dispositifs médicaux IO en Europe.

En France, il n'existe actuellement que trois diplômes universitaires qui abordent les gestes d'urgence avec une partie consacrée à la VIO (dont un spécialisée en pédiatrie) : la formation se base sur un module théorique et un module pratique de simulation sur des mannequins.

ii. La simulation en santé

Les médecins et infirmiers des secteurs d'urgences, de réanimations et de pédiatries doivent s'entraîner aux gestes IO pour s'approprier les dispositifs médicaux disponibles dans leur établissement. Une étude anglaise a démontré que 75 % des équipes néonatales était équipé de dispositifs IO mais ne savaient pas correctement les utiliser faute de pratique courante régulière(217).

Pour cela, il existe des centres de simulation en santé équipés de mannequins dédiés à la pose de voie intra-osseuse humérale, tibiale et sternale. Les formations mixtes avec des médecins, des internes et des infirmiers sont encouragées. Les sessions peuvent durer de trente à cent vingt minutes selon les centres de formations. En règle générale, une session se compose d'un briefing théorique de quinze minutes (bonnes pratiques et recommandations de perfusions, spécificités de la voie intra-osseuse) et d'un atelier pratique sur mannequin de 30 minutes suivi d'un débriefing de 45 minutes.

Ces séances de simulation à la pose de dispositifs médicaux sont non obligatoires mais seulement recommandées à minima tous les 4 ans, comme pour toutes formations aux gestes d'urgences. Il n'existe pas de certification officielle à ce jour dans ce domaine. Il serait optimal que tout le personnel médical exerçant dans une unité d'urgence ou en pédiatrie puisse bénéficier de ces formations. Au vu des précédents constats, une habilitation obligatoire à la VIO serait un facteur hautement contributif dans l'intérêt de la santé publique nationale.

b) Etat des lieux médico-clinique

i. Les dispositifs médicaux

La majorité des répondants a été amené à utiliser des DM IO au sein des services d'urgences (n=32, 31,7 %) et lors de sorties du service mobile d'urgence et de réanimation (SMUR)/SAMU (n=28, 27,7 %). La pédiatrie représente le 3^{ème} pole d'utilisation (n=14, 13,9 %) suivi de la réanimation (n=12, 11,9 %) et de la gériatrie (n=2, 1,98 %). Près de 12,9 % (n=13) des médecins questionnés ont également effectué des poses en salle de simulation en santé.

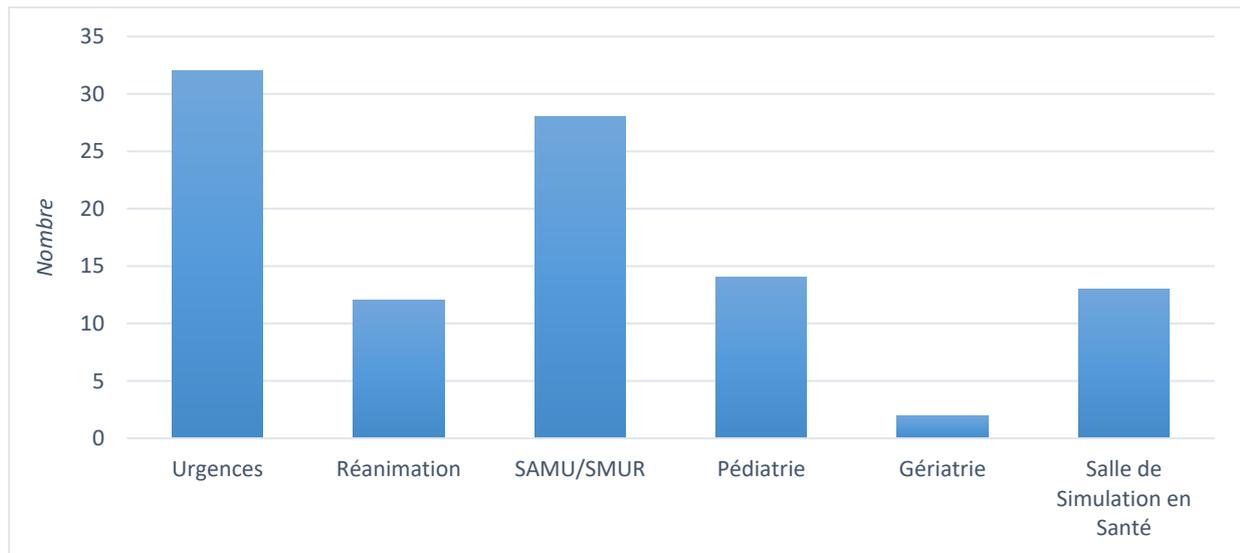


Figure 108 - Répartition des poses de VIO selon les services hospitaliers

Les dispositifs médicaux privilégiés étaient des dispositifs motorisés (56 %, n=93) suivis par des dispositifs manuels (40,4 %, n=67). Des utilisations ponctuelles de dispositifs à percussion (1,8 %, n=3) et de cathéters IV (1,8 %, n=3) ont été relatées. Le tableau ci-dessous détaille le type de dispositifs utilisés selon les services déclarés par les médecins. Nous constatons que la répartition du type de DM IO est relativement homogène entre les services avec une supériorité d'emploi globale des DM motorisés.

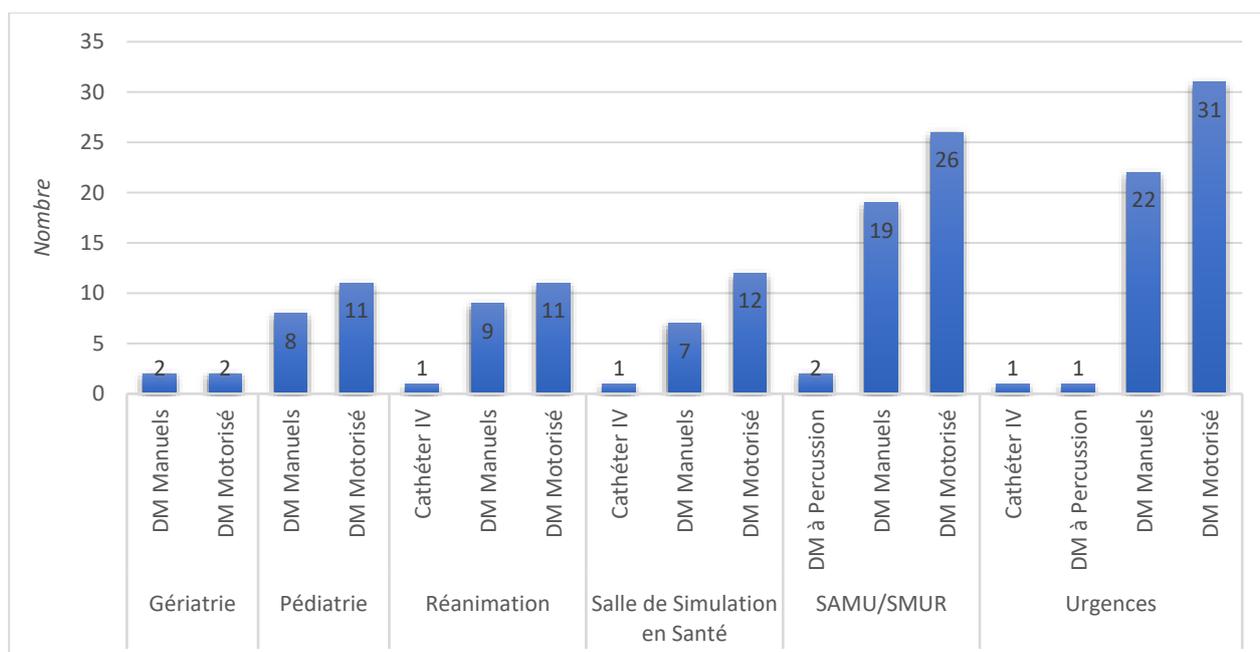


Figure 109 - Typologie des DM IO utilisés selon les services

ii. Echecs de poses et sites d'insertions

En 1990, une étude stipulait environ 20 % d'échecs de poses lorsque le geste IO était strictement médical. Plusieurs facteurs étaient remis en cause : erreurs de repères anatomiques, pression appliquée inadéquate, forte densité de moelle osseuse dans une cavité réduite ou remplacement de la moelle par du tissu lipidique ou fibrineux(11).

Suite à notre enquête, 38 % (n=20) des médecins et internes ont déclarés avoir eu au moins un échec de pose lors d'une insertion manuelle, 25 % (n=13) lors d'une insertion motorisée, 2 % (n=1) lors d'une insertion avec percussion et 2 % (n=1) pour une insertion manuelle avec cathéter IV. Près de 33 % (n=17) des médecins et internes déclaraient ne jamais avoir rencontré d'échecs lors d'une pose de DM IO. Les données retrouvées sont en corrélation avec la littérature qui précise un taux d'échecs supérieur des DM manuels par rapport aux DM motorisés(116,119,125,159). Cependant, notre faible échantillon de répondants ne nous permet pas d'effectuer une réelle comparaison et extrapolation avec les études faites à grande échelle. Bien qu'informatif, ces résultats doivent également être nuancés par un possible biais suite à la méthode de recueil choisie. En effet, les échecs d'insertions sont en général sous-évalués et biaisés et les DM non conventionnels utilisés (tel que les cathéters IV) sont sous-déclarés.

Outre le dispositif utilisé, il faut également mettre en regard les multiples choix du site d'insertion. En effet, nous avons remarqué que le tibia proximal semble être le site d'insertion le plus plébiscité (50 %, n=43) suivi de l'humérus (26,7 %, n=23), du tibia distal (12,8 %, n=11), du fémur distal (7 %, n=6), de l'épine iliaque supéro-antérieure (2,3 %, n=2) et du sternum (1,2 %, n=1). Le tibia proximal est une des zones d'insertions de référence chez l'adulte et l'enfant suivi de l'humérus qui est fortement privilégié chez les adultes.

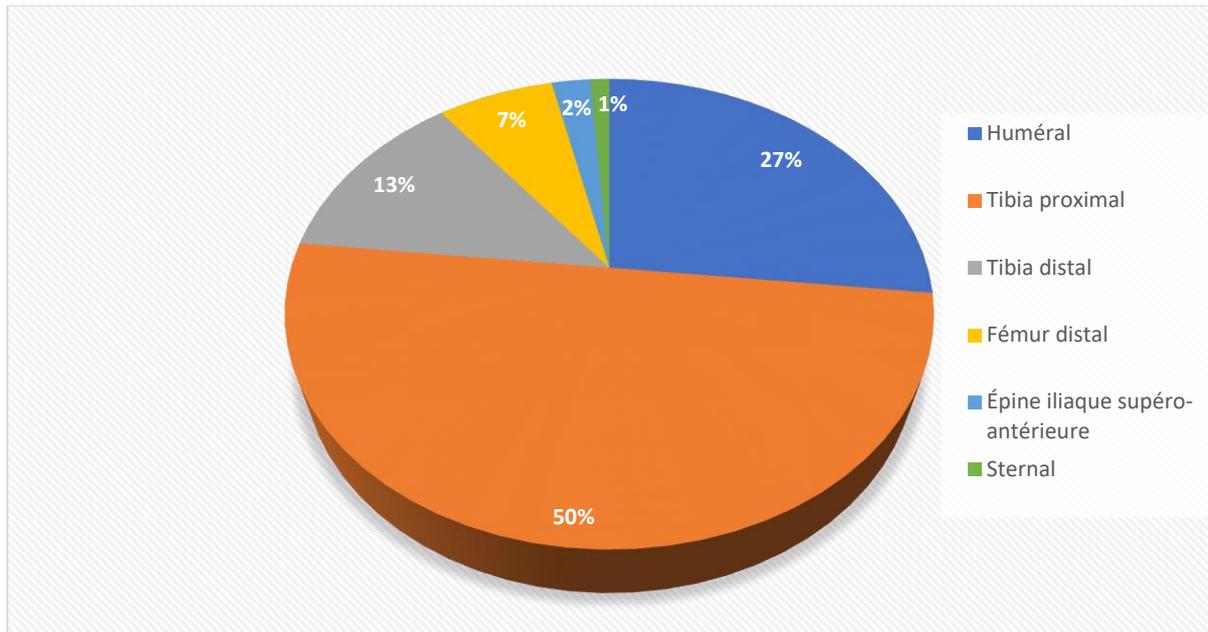


Figure 110 - Sites d'insertions plébiscités

iii. Complications

Les complications rencontrées sont peu fréquentes et en corrélation avec les données bibliographiques. En effet, la diffusion sous-cutanée est la complication la plus fréquemment relevée (64 %, n=16) suivie de la déperfusion (28 %, n=7), de l'infection in situ (4%, n=1) et de l'hématome (4 %, n=1). Les complications dites « rares » dans la bibliographie n'ont pas été constatées. Près de 53 % (n=26) des médecins n'ont jamais signalé de complications après PIO depuis qu'ils exercent. Le nombre moyen de patients traités par perfusion IO rapporté à chaque médecin, ou interne, était approximativement de 15 patients (min=1, max=80).

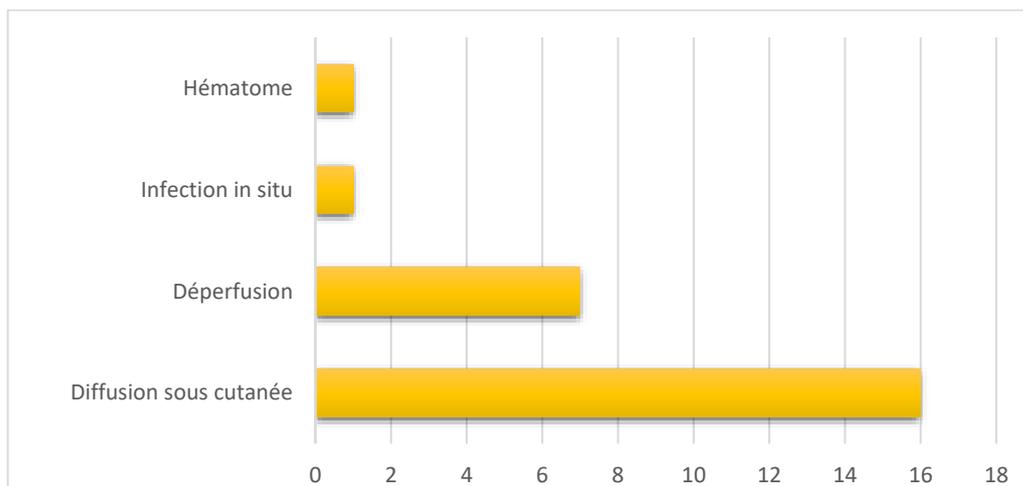


Figure 111 - Complications liées après une perfusion IO

2. Question de la délégation de pose infirmier

a) En France

La pose d'une voie intra-osseuse est un acte strictement médical. En effet, il en est de la responsabilité du médecin de décider et d'effectuer la pose de la voie IO. Comme le rappelle l'avis n°2016.0074/AC/SA3P du 30 novembre 2016 du collège de la Haute Autorité de Santé (HAS) sur « la pose d'un accès vasculaire de type perfusion intra-osseuse (PIO), en cas d'arrêt cardiorespiratoire de l'enfant, de l'adulte ou d'impossibilité de pose de la voie veineuse périphérique », la HAS n'est pas favorable à l'autorisation du protocole de coopération sur « la pose de l'indication, mise en place, surveillance voire ablation d'une PIO par les infirmiers(237) ».

Les articles R.4311-7 et R.4311-5 du Code de la Santé Publique ne mentionnent aucunement les cathéters intra-osseux dans le champ d'action de la délégation aux compétences infirmiers. Le corps infirmier peut cependant procéder à l'administration des médicaments, des solutés et des produits sanguins labiles ou mettre en place les pansements fixateurs. Ils sont également autorisés à retirer les dispositifs médicaux IO. Il est à noter que la pose de cette voie d'abord par le corps infirmier présente un risque minime s'ils ont bénéficié d'une formation validée par le corps médical et si les indications posées dans le cadre d'un protocole de soins sont clairement respectées.

L'article R.4311-3 du Code de la Santé Publique mentionne par ailleurs que l'infirmier : « *Identifie les besoins de la personne, pose un diagnostic infirmier, formule des objectifs de soins, met en œuvre les actions appropriées et les évalue. Il peut élaborer, avec la participation des membres de l'équipe soignante, des protocoles de soins infirmiers relevant de son initiative* ». De part cet article, l'inscription d'une VIO comme un acte de soins par les infirmiers est possible. Malgré une absence de reconnaissance législative spécifique, ce geste reste néanmoins possible dans le cadre d'un protocole de soins d'urgence face à une urgence vitale et sous la responsabilité d'un médecin déclaré.

Cependant il est relativement fréquent de constater la pose de VIO par le corps paramédical. Une étude prospective observationnelle de 2013 à 2018 au SMUR de Lariboisière à Paris a par ailleurs évalué un taux de réussite de pose de VIO à 91 % au premier essai par les infirmiers ; ces derniers ayant été préalablement formés théoriquement aux techniques et procédures de poses. Près de 86 % des cas concernaient des ACR avec un site de pose en tibial proximal et quelques cas sur la tête humérale. Le temps de pose moyen évalué était de une minute(238) alors que la pose d'une voie intraveineuse peut atteindre 10 minutes(117). Cette étude semble démontrer la non-infériorité d'échecs de poses par rapport au corps médical. Une autre étude a prouvé qu'il n'existe pas de différence entre la pose de ce dispositif par un infirmier ou par un médecin(241).

De même, une étude américaine faite en 1994 a démontré que seulement une heure de formation était nécessaire aux infirmiers exerçant dans une structure d'urgence mobile pour satisfaire pleinement aux techniques de pose d'une voie intra-osseuse avec un faible taux d'échecs de pose et peu de complications observées(240). Il était préconisé une heure de

formation théorique suivi d'une heure de formation pratique pour avoir l'expérience nécessaire(44).

En France, les infirmiers militaires peuvent poser une voie intra-osseuse uniquement dans les cas d'urgences vitales avec traumatismes balistiques et hors contexte d'un hôpital militaire. Ils doivent pour cela avoir au préalable accompli une formation avant leur déploiement opérationnel.

b) Dans le monde

Chaque pays dispose de ses propres lois et réglementations concernant les actes réalisables par les infirmiers. La plupart des pays autorise l'utilisation des dispositifs médicaux IO uniquement pour les infirmiers membres de services d'urgences, de réanimation hospitalière et de médecine préhospitalière.

i. Europe

Au Royaume-Uni, le « Resuscitation Council of United-Kingdom » préconise l'utilisation de la voie intra-osseuse après deux minutes de tentatives infructueuses de pose d'une voie intraveineuse pour un patient en arrêt cardio-respiratoire. C'est uniquement dans ce cas que la délégation de pose est autorisée pour le corps infirmier.

En Suisse, les médecins, infirmiers et les ambulanciers urgentistes spécifiquement formés aux gestes IO peuvent mettre en place et retirer des VIO.

En Norvège, les infirmiers spécialisés en urgence et réanimation ont une délégation de pose de voies intra-osseuses après un examen de validation clinique, supervisé par des médecins urgentistes(119).

En Pologne, les infirmiers pratiquent des poses de VIO surtout en pédiatrie(219). Une étude propose même que les pompiers soient formés aux dispositifs IO car ce sont en général les premières unités de secours présentes sur place pour porter assistance aux victimes. Cette étude se base sur l'utilisation du NIO® dans les cas de chocs anaphylactiques(241).

A noter qu'il existe également une délégation de pose, sans restriction ou délégation médicale, pour les infirmiers exerçant en Allemagne, en Espagne, en Italie et en Finlande.

ii. Amérique du Nord

Aux Etats-Unis, les « paramedics » de l'Emergency Medical Services ont l'autorisation de la FDA pour la mise en place d'abord et de perfusions par voie intra-osseuse. Certains infirmiers « entraînés et enregistrés », peuvent positionner, maintenir, évaluer et retirer des dispositifs médicaux intra-osseux(239).

Au Canada, la pose de voie intra-osseuse est un acte médical et est souvent utilisée dans les contextes d'urgences vitales avec hypothermie, de types noyades et secours en montagne.

iii. Autres pays

En Israël, les infirmiers spécialisés en urgence interventionnelle et en réanimation ont un droit de pose de VIO sous leur responsabilité propre(117). Pour les forces armées de Tsahal, tout le personnel médical de l'armée régulière et de réserve est préalablement entraîné sur des os de poulet à l'utilisation du BIG® (dont la production mondiale est localisée en Israël) et dispose du droit légal d'insertion(235).

Au Japon, l'équipe mobile de l'Emergency Life-Saving Technicians peut poser des voies intraveineuses uniquement dans le cas des ACR et n'est pas autorisé pour la pose de VIO ou l'administration de médicaments autre que l'adrénaline(242).

La Chine maintient quant à elle l'exclusivité de ce geste aux médecins(243).

L'Australie, le Brésil et la Russie autorisent leurs corps infirmiers à positionner des VIO sans supervision médicale.

En 2013, l'association des infirmiers urgentistes de Nouvelle-Zélande déplore le manque de formations et d'expériences IO des médecins et infirmiers. Ils demandent alors un encadrement des formations par les universités et la reconnaissance de cet acte par les autorités administratives.

c) Discussion

Cette disparité mondiale est le reflet des contraintes sociales, économiques, géographiques et territoriales propres à chaque pays vis-à-vis de leur système de santé.

Le choix de la délégation de prise en charge IO des infirmiers a été majoritairement accepté au niveau mondial mais elle reste non autorisée sur le territoire français. Une évolution de ces mesures paraît indispensable dans le cadre d'une bonne prise en charge préhospitalière des patients.

D'après ces résultats, il paraîtrait alors envisageable que les gestes nécessaires à une prise en charge par VIO puissent être ajoutés au décret n°2004-802 de compétence et d'exercice du personnel infirmier dans les cas d'urgences vitales et de situations sanitaires exceptionnelles. En effet, l'article R.4311-14 définit que : « En l'absence d'un médecin, l'infirmier ou l'infirmière est habilité, après avoir reconnu une situation comme relevant de l'urgence ou de la détresse psychologique, à mettre en œuvre des protocoles de soins d'urgence, préalablement écrits, datés et signés par le médecin responsable. Dans ce cas, l'infirmier ou l'infirmière accomplit les actes conservatoires nécessaires jusqu'à l'intervention d'un médecin ».

Une autorisation de mise en place, après une formation théorique et pratique encadrée médicalement, serait dans un premier temps idéal pour le corps infirmier qui possède déjà la presque totalité des compétences nécessaires. La mise en place de protocoles serait essentielle à la réussite de cette délégation de compétences. En effet, la collaboration médecin-infirmier, notamment au SMUR dans le cadre des urgences vitales, serait décisive dans l'intérêt du patient et de sa prise en charge rapide vers un centre hospitalier. A l'image de ce qu'il se fait actuellement pour la délégation de pose de cathéters centraux dans certaines unités d'accès vasculaires hospitalières, cette collaboration pourrait être validée et encadrée par les agences régionales de santé (ARS) et incorporer un droit de refus par l'infirmier ou par le patient.

VIII. Le pharmacien clinicien des dispositifs médicaux

La présence d'un pharmacien dans les services de soins est un facteur d'amélioration de la vigilance et du bon usage des médicaments et des DM. En s'appuyant sur l'expérience et les retours d'utilisation de tous les produits sous sa juridiction, la présence pharmaceutique est un atout majeur dans l'optimisation des thérapeutiques et de l'environnement de soins. Depuis peu, la pharmacie clinique appliquée aux dispositifs médicaux se développe et évolue dans une continuité similaire à la pharmacie clinique des médicaments.

Dans ce but, une enquête interrégionale sur la VIO a été menée auprès de PUI de centres hospitaliers des régions Occitanie et Nouvelle-Aquitaine du 15/10/2019 au 10/03/2020. 80 PUI ont été sollicitées dont 47 (59 %) ont répondu à l'enquête. Le recueil des données fût téléphonique et informatique mais a été arrêté prématurément au début de mars 2020 à cause du contexte sanitaire pandémique du COVID-19. Les différents points abordés lors de cette enquête furent le référencement, les marchés publics, la gestion des stocks, les consommations, les plans d'urgences sanitaires, la matériovigilance et le bon usage en rapport. Les résultats de cette enquête seront présentés au chapitre suivant.

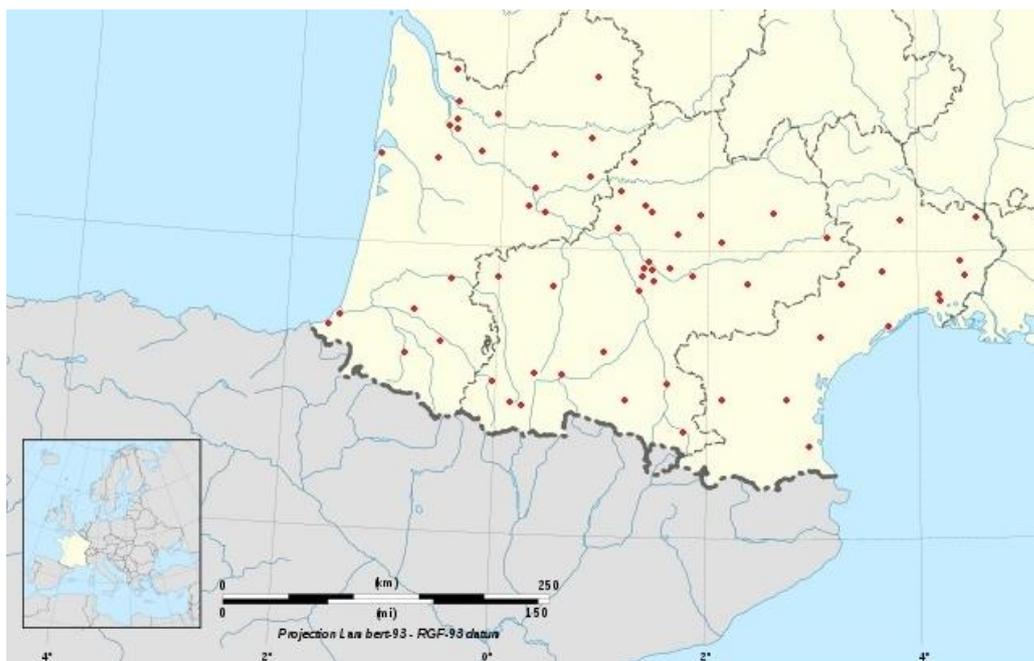


Figure 112 - Carte de la répartition des PUI sollicitées pour l'enquête interrégionale

A. Gestion et approvisionnement des dispositifs médicaux au sein d'une PUI

Le pharmacien hospitalier est responsable du référencement, de l'approvisionnement, de la gestion, de la détention, du contrôle, de la dispensation et du bon usage des dispositifs médicaux stériles de son établissement. Il gère de ce fait le référencement des médicaments et des dispositifs médicaux de son établissement en fonction des différents marchés publics négociés dans le cadre de groupements d'achats inter-hospitaliers, de marchés locaux ou propres à son centre hospitalier. Il existe plusieurs dizaines de milliers de références de dispositifs médicaux actuellement sur le marché.

Différents groupements de coopération sanitaire (GCS) ont été formés sur le territoire national afin de permettre l'union de différents centres hospitaliers auprès de centrales d'achats permettant d'avoir des tarifs négociés auprès des fournisseurs. L'union des hôpitaux pour les achats (UniHA), le groupement Garonne/Midi-Pyrénées et le groupement des dispositifs médicaux d'Aquitaine (DISMEDAQ) sont trois exemples de coopératives d'achats hospitaliers majoritairement représentées dans le Sud-Ouest français. Les moyens mis en place dans chacune de ces coopératives sont une centrale d'achat et un regroupement des commandes suite aux appels d'offres émis. UniHA est la centrale d'achat la plus représentée en France et regroupe environ 1 000 hôpitaux. Pour note étude, la répartition de l'adhésion des PUI aux différents marchés est détaillée dans le graphique ci-dessous.

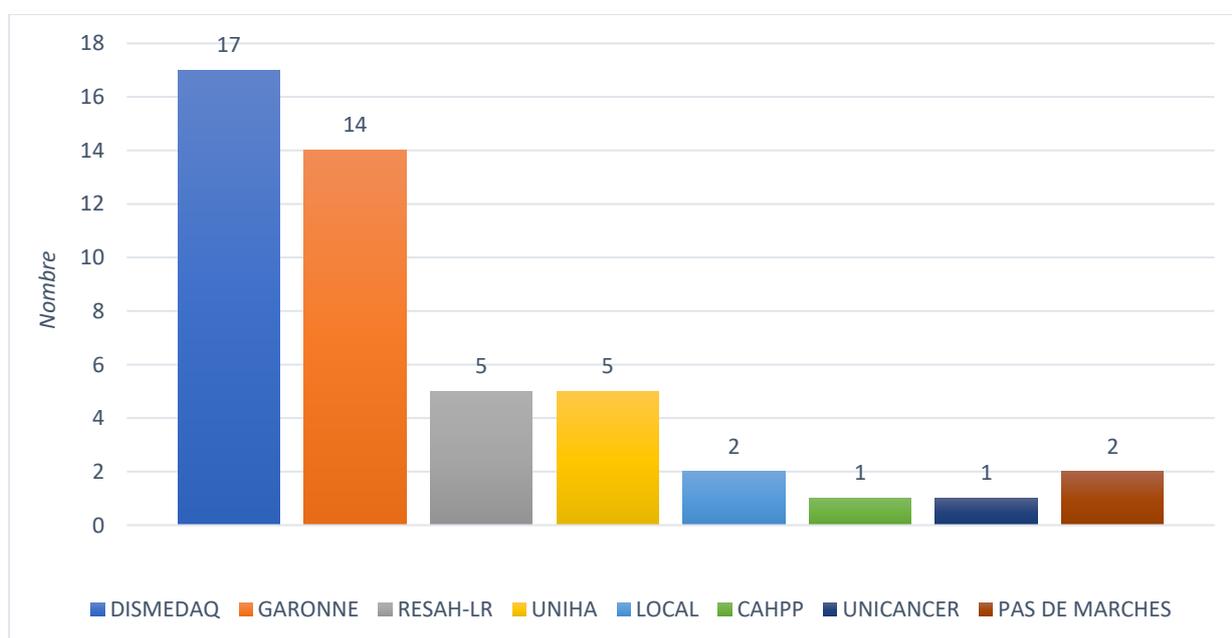


Figure 113 - Répartition des marchés de groupements d'achats de dispositifs médicaux des PUI sollicités

DISMEDAQ (36,2 %) et Garonne/Midi-Pyrénées (30 %) sont les deux marchés les plus représentés dans le Sud-Ouest suivi du RESAH-LR (10,6 %) et de UniHA (10,6 %). Tous les groupements cités proposent une quantification d'achat pour des DM IO manuels et motorisés. Au contraire, les DM à percussions ne sont représentés dans aucun marché ; ce qui s'explique en grande partie par leur absence d'utilisation.

La gestion des dispositifs médicaux par les PUI est dépendante de plusieurs critères parmi lesquels : le positionnement médico-clinique du DM, les consommations mensuelles, le volume occupé, les rangements disponibles, le prix et la disponibilité du produit chez le fournisseur. L'ensemble de ces critères permettront au pharmacien hospitalier de définir la gestion de son produit : en stock, en hors stock ou en dépôt-vente.

Concernant la gestion des DM IO, 30 % (n=14) des PUI sollicitées n'ont aucun référencement. Parmi les 70 % (n=33) des PUI adhérant à un marché avec un lot DM IO : 50 % (n=16) possèdent des DM IO en stock, 47 % (n=15) les gèrent en hors-stock et 3 % (n=1) ont un circuit mixte de stock et de hors stock.

Pour ce qui est du type de DM : 55,6 % (n=26) des PUI ont fait le choix d'un DM IO motorisé, 24,1 % (n=11) ont référencé un DM IO manuel et 20,4 % (n=10) ont décidé de détenir à la fois un DM manuel et un DM motorisé. Dans ce dernier cas, il s'agit le plus souvent de centres hospitaliers universitaires avec une forte activité en urgence-réanimation. La consommation annuelle moyenne pondérée sur toutes les PUI est d'environ 70 unités (min=3, max=410).

Il est primordial de déterminer quels sont les principaux services utilisateurs de DM intra-osseux afin d'ajuster le circuit d'approvisionnement et la gestion de ces produits à leurs besoins. Le graphique ci-dessous présente en détails le nombre cumulé des différents services consommateurs de DM IO suite à notre enquête sur toutes les PUI.

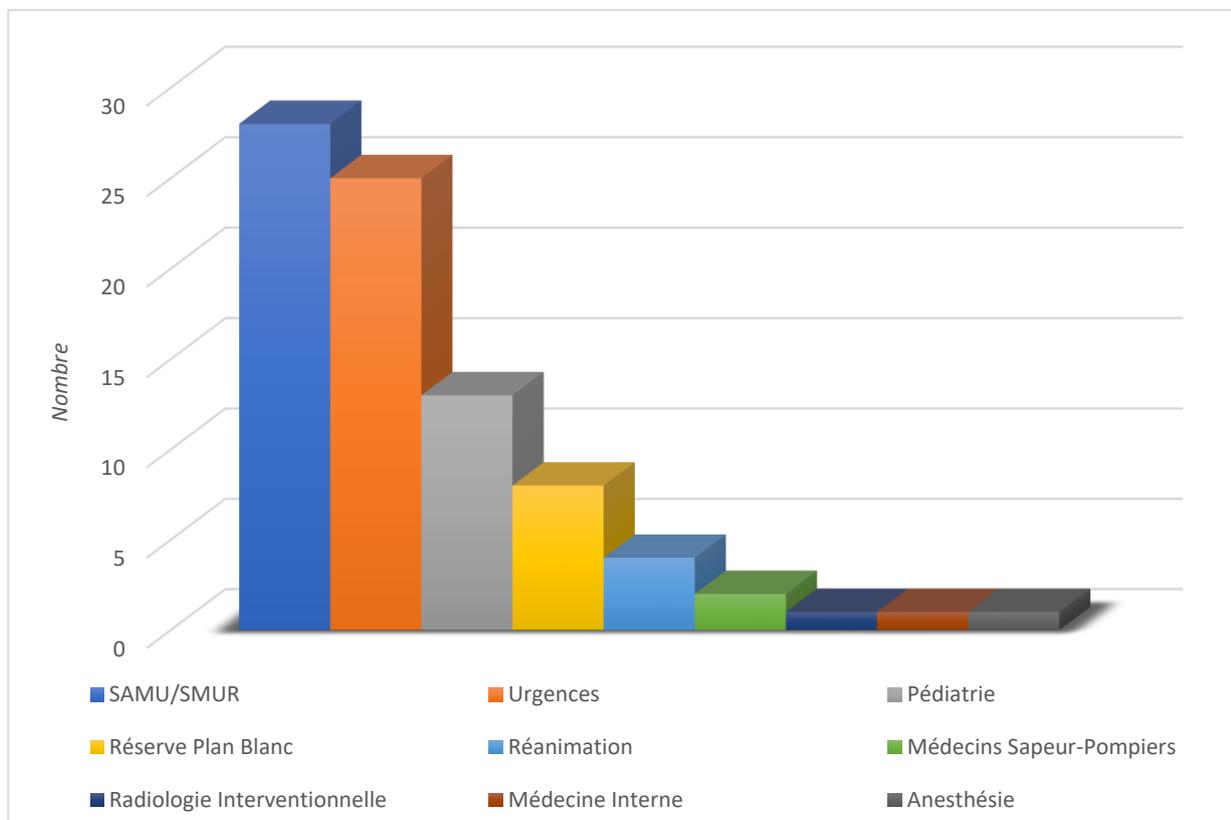


Figure 114 - Proportion cumulée des services consommateurs de DM IO

Comme attendu, les unités mobiles de médecine d'urgence (SAMU/SMUR) et les services des urgences sont les premiers consommateurs de DM IO et représentent ensemble environ 75 % (n=51) de la consommation hospitalière en DM IO. La pédiatrie est le 3^{ème} pôle de consommation avec 17,7 % (n=12).

Malgré la forte utilisation de DM IO dans certains services, près de 42 % (n=20) des PUI sollicitées n'ont pas eu de demandes de référencement médicale d'un DM IO, 41 % (n=19) ont déjà eu une demande médicale pour un DM motorisé et 17 % (n=8) ont eu une demande de DM manuel. Aucune PUI n'a, par contre, jamais eu de demandes de mise à disposition d'un DM à percussion. D'après ces informations, il semblerait que l'approvisionnement en DM motorisés soit mixte : à part égale entre une volonté médicale et un référencement proactif pharmaceutique auprès d'un marché.

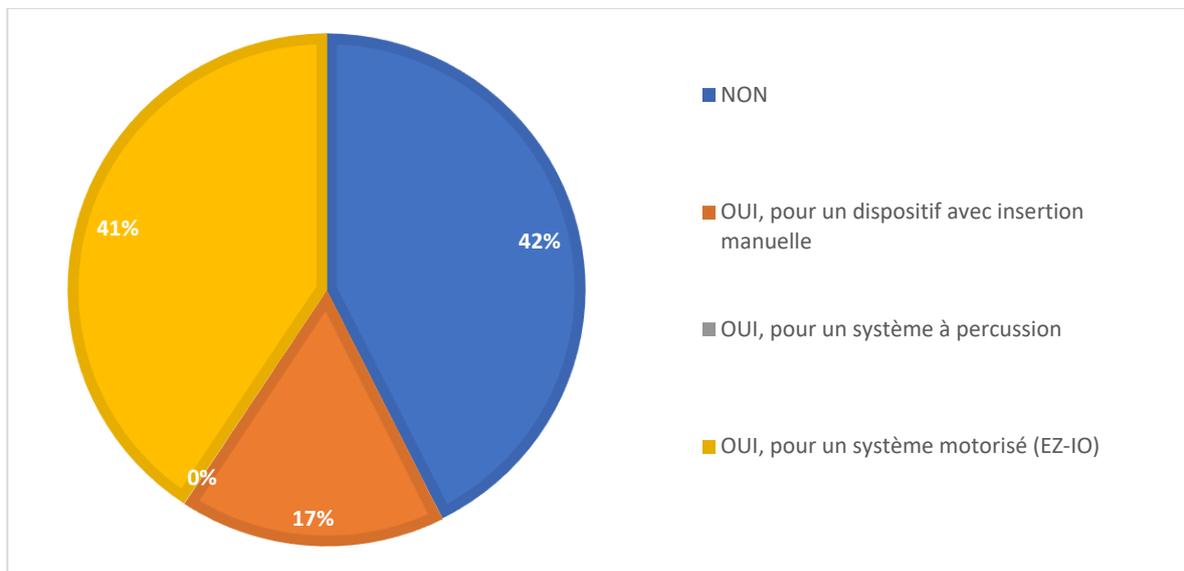


Figure 115 - Demandes médicales de référencement d'un DM IO

En outre, seulement deux PUI ont déclaré des cas de matériovigilances ascendantes (casse ou plicature de l'aiguille IO sur DM manuel et motorisé) et un seul cas de matériovigilance descendante a été enregistré depuis 2015 (défaut de ressort d'éjection sur un DM à percussion). Ces chiffres démontrent globalement une bonne efficacité, qualité et sécurité d'emploi des DM IO sur le marché.

Dans le but de mutualiser les achats de produits de santé au niveau régional, un nouveau groupement de coopération sanitaire (GCS) régional d'achats a été mis en place depuis janvier 2019 et réunit environ 80 établissements publics dont les trois principaux centres hospitaliers universitaires (Toulouse, Nîmes et Montpellier). La fusion des groupements RESAH-LR et Garonne/Midi-Pyrénées permettra ainsi le développement d'une centrale d'achat régionale coordonnée par le GCS Occitanie. Les référencements de DM IO manuels et motorisés seront repris avec pour conséquence une possible future diminution des prix d'achat hospitalier.

B. Le juste usage des dispositifs médicaux

Tout comme les médicaments, il est nécessaire que les dispositifs médicaux soient employés dans le strict usage pour lequel ils ont été développés et définis. En effet, des déviations d'utilisations pour certains dispositifs sont fréquemment constatées comme par exemple certains cathéters IV qui sont utilisés pour la mise en place de VIO.

Selon l'article R5126-5 du Code de la Santé Publique, le pharmacien doit mettre en place toutes les actions nécessaires à la promotion et au bon usage des produits de santé, dont les dispositifs médicaux stériles.

A ce jour, il n'existe pas de fiche de bon usage pour les dispositifs médicaux de la voie intra-osseuse. La HAS et les associations nationales des dispositifs médicaux (tel qu'Euro-Pharmat) ne disposent pas de documents spécifiques à cette voie. Nous avons donc élaboré et diffusé une fiche de bon usage des DM de la voie intra-osseuse, consultable en annexe n°5. Cette fiche synthétise les DM référencés sur le centre hospitalier d'Agen et les indications les plus fréquemment répertoriées. Elle est également consultable par le personnel de la pharmacie, afin de renforcer la vigilance lors de la dispensation des DM aux services et d'améliorer les connaissances médicales de l'équipe, et incorporée dans le logiciel qualité de l'établissement pour constituer le référentiel de bon usage.

Par ailleurs, la création d'une équipe pharmaceutique mobile dédiée aux dispositifs médicaux au début de l'année 2019 nous a permis de renforcer le lien entre les équipes médicales et la pharmacie sur différentes thématiques dont les DM intra-osseux. Cette innovation a ainsi été présentée lors du congrès national hospitalier Hopipharm de 2019 : la communication écrite est disponible en annexe n°6. De plus, un questionnaire de formation sur la voie intra-osseuse a été élaboré à destination du personnel médical, paramédical et pharmaceutique dans un but d'amélioration des connaissances théoriques. Ce document est adapté d'un tutoriel de la fédération annuelle des anesthésistes de 2015 et est consultable en annexe n°7.

Le renforcement du bon usage hospitalier pourrait se faire par la nomination locale dans les services de médecins ou d'infirmiers référents de la VIO. Comme proposé par la PUI du CH de Melun, l'appellation de DM stériles sécurisés (DMSS) serait applicable pour les DM IO(244). Ces DMSS seraient dispensés dans les unités de soins disposant de personnels préalablement formés par la pharmacie, ou un formateur externe, et accompagnés obligatoirement par une fiche de bon usage.

C. Etude médico-économique

Les aspects médico-économiques deviennent primordiaux de nos jours pour l'optimisation du système de santé. La tarification des produits de santé est source de fortes tensions autour du système hospitalier public français.

1. Coûts des dispositifs médicaux

En règle générale, les dispositifs médicaux intra-osseux sont beaucoup plus chers que les cathéters intraveineux. Cependant, il existe deux facteurs qui doivent être pris en compte pour le support des surcoûts engagés par ces dispositifs.

En premier, la place des DM dans la stratégie thérapeutique, et en deuxième, le gain de temps dans les protocoles hospitaliers. Chaque système de santé doit évaluer le coût et l'efficacité des techniques utilisées en termes d'amélioration des soins cliniques et du management des ressources humaines.

Une étude multicentrique de 2009 sur 105 patients a comparé les coûts des cathéters veineux centraux versus intra-osseux pour des patients admis dans des services d'urgences : il a été calculé que la pose d'une voie intra-osseuse permettait une économie nette de 195 \$ soit 180 € par patient(245). Cependant, seuls les coûts de mises en place ont été étudiés : la prise en charge globale des voies d'accès sur la totalité du séjour n'a pas été prise en compte lors de cette étude. Il n'existe actuellement pas d'étude médico-économique complète de comparaison IV versus IO. Cependant, l'utilisation systématique d'une voie IO dans les cas d'arrêts cardio-respiratoires pourrait avoir un surcoût annuel estimé d'environ 40 000 \$ soit 33 500 € pour les équipes mobiles d'urgence d'un hôpital de 900 lits(246).

Le dispositif motorisé EZ-IO® présente le plus d'intérêt clinique et médical mais son prix d'utilisation est élevé : 280 € HT pour le moteur et 107 € HT pour une aiguille (prix marché UniHA 2020). Au vu de ces tarifs, il paraît économiquement difficile d'équiper en grande quantité toutes les équipes mobiles de SAMU/SMUR, les services d'urgences/réanimations, les services de pédiatrie et encore dans une moindre mesure tous les autres services hospitaliers.

2. Remboursement et codage des actes médicaux

Le codage des actes médicaux par les médecins est un acte obligatoire depuis la loi du 31 juillet 1991 et oblige ainsi les établissements de santé à procéder à l'évaluation et à l'analyse de leurs activités. C'est également sur ce codage que se base l'assurance maladie pour le remboursement de certains actes médicaux. Dans chaque centre hospitalier, qu'il soit public ou privé, le Département d'Information Médicale (DIM) est chargé d'appuyer les médecins au codage des actes médicaux dans le Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI). Le DIM organise le recueil, la circulation et le traitement des données médicales. Son rôle en matière de centralisation des informations médicales est prévu par l'article L.710.5 du Code de la Santé Publique. De plus, il est toujours placé sous supervision médicale.

A l'origine introduit dans le système français par Jean de Kervasdoué dans les années 1980, le PMSI est présenté comme un outil épidémiologique avant d'être transformé en outil budgétaire de suivi de l'activité hospitalière. Il permet ainsi de calculer le budget à allouer aux unités de soins mais est également utilisé comme outil de comparaison entre les différents établissements de santé. L'activité du PMSI obéit à trois méthodes d'analyse suivant l'activité principale de l'établissement concerné. On distingue ainsi le PMSI de médecine-chirurgie-obstétrique (MCO), le PMSI de soins de suites et de réadaptation (SSR) et le PMSI de psychiatrie (PSY). Pour le PMSI MCO, les données sont recueillies à partir d'un résumé de sortie standardisé alors que dans les PMSI SSR et PSY, les données recueillies sont le niveau de prise en charge et le degré de dépendance adaptés aux établissements de moyen et de long séjour. Les données médicales recueillies dans le cadre du PMSI sont protégées par le secret professionnel.

Depuis 2004, le PMSI est utilisé pour la mise en œuvre de la tarification à l'activité (T2A) qui se base sur l'activité des hôpitaux en vue de leur rémunération. Obligatoire dans les hôpitaux publics depuis le plan « Hôpital 2007 », la T2A permet un paiement mensuel aux établissements par les ARS selon les données d'actes de soins transmises. Par exemple, depuis 2005, le code EBLA003 « Pose d'un cathéter relié à une veine profonde du membre supérieur ou du cou par voie transcutanée, avec pose d'un système diffuseur implantable sous-cutané » est défini comme un acte médical avec une base de remboursement à 138,96 € par l'assurance maladie. Cette base de remboursement correspond au tarif de l'acte à un taux déterminé par la sécurité sociale et à une date précise. Ce code est par la suite rattaché à un diagnostic et/ou associé avec d'autres actes médicaux, ce qui permet donc par la suite d'établir une liste exhaustive des actes réalisés dans un centre hospitalier et de pourvoir à un remboursement par l'assurance maladie. Pour autre exemple, l'acte médical EPLF002 « Pose d'un cathéter veineux central, par voie transcutanée » est remboursé à hauteur de 63,20 €.

En ce qui concerne la voie intra-osseuse, le code EALB002 « Pose d'une voie d'abord vasculaire intra-osseuse ou dans le sinus sagittal [longitudinal] supérieur » existe depuis 2005 mais ne possède pas de base de remboursement par la sécurité sociale. De ce fait, les établissements de santé ne peuvent prétendre à une indemnisation sur cet acte médical. Le diagnostic le plus fréquemment associé à cet acte est le numéro I46.9 « Arrêt cardiaque, sans précision ».

A ce jour, les seuls actes codés de perfusion intra-osseuse éligibles à une base de remboursement sont :

- PACB001 : « Perforation ou forage d'un os, ou injection intra-osseuse, par voie transcutanée » à hauteur de 87,10 €
- NBCB003 : « Perforation, forage, ou injection intra-osseuse au niveau de la tête du fémur, par voie transcutanée » à hauteur de 164,49 €

Ces actes sont très peu codés en association avec des diagnostics d'arrêts cardiaques et sont plutôt utilisés actuellement dans le cadre d'ostéochondrites et de tumeurs bénignes, en dehors de tout contexte d'urgence. De ce fait, nous pouvons nous demander si le codage de l'acte PACB001 n'est pas biaisé et associé à une sous-déclaration dans les cas d'urgences vitales. Une réévaluation de ces codages d'actes intra-osseux est à envisager.

D. Intérêt d'un kit intra-osseux prêt à l'emploi

1. La réserve plan blanc

Le plan blanc est un plan spécifique d'urgence sanitaire pouvant être mis en place dans tous les établissements publics ou privés de santé. Il consiste en l'instauration de mesures d'urgences et d'organisations spécifiques afin de pallier à une situation sanitaire exceptionnelle, ou à une activité accrue, et permettre ainsi l'accueil et la prise en charge d'un afflux massif de victimes d'un accident, d'une catastrophe, d'une épidémie ou d'un événement climatique meurtrier et durable.

Le plan blanc prévoit l'inventaire des moyens disponibles par les services médicotechniques, dont fait partie la PUI, et la mise à disposition de moyens supplémentaires. Nous avons évalué la nécessité de mettre à disposition un kit intra-osseux dans le stock permanent de la réserve destinée au plan blanc.

A partir de nos précédents questionnaires, 81 % (n=49) des médecins et 69,5 % (n=33) des PUI se sont prononcés en faveur de la mise en place d'un kit intra-osseux dans la réserve plan blanc. Aucune des PUI questionnées ne disposent de kit IO prêt à l'emploi. Seulement 2 % (n=1) des médecins ne souhaitent pas de kit IO dans la réserve plan blanc et 17 % (n=10) ne se sont pas prononcés. Concernant les pharmacies hospitalières, 2,2 % (n=1) se sont prononcées contre cette mesure et 28,3 % (n=13) n'avaient pas d'opinion.

Selon les différents avis médicaux, ce kit IO individuel devrait être majoritairement composé de dispositifs motorisés (83,6 %, n=51) plutôt que dispositifs manuels (16,4 %, n=10).

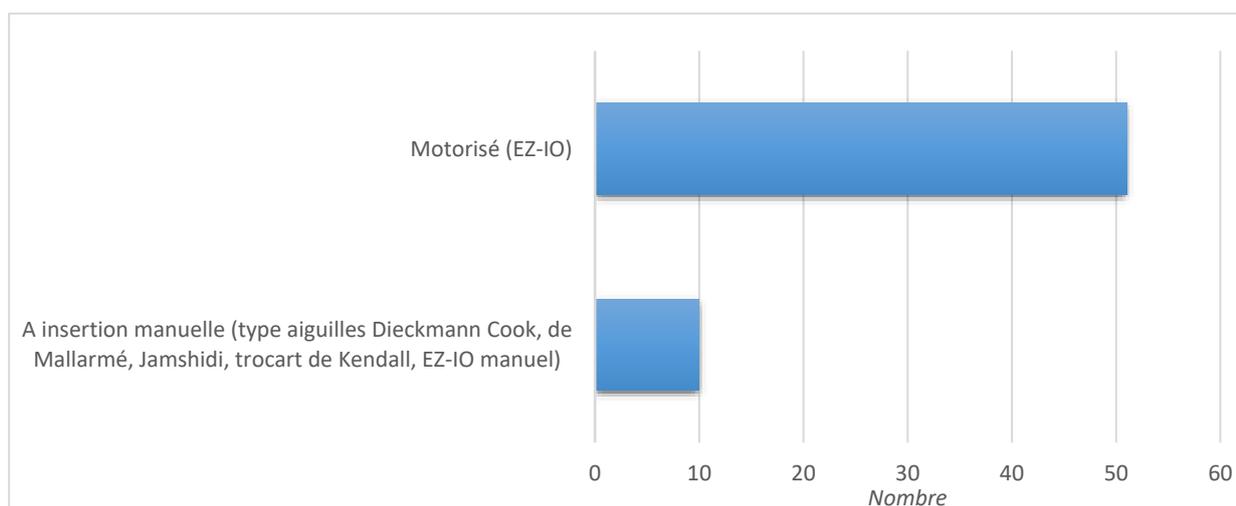


Figure 116 - Choix d'un DM pour le kit IO de la réserve plan blanc

La composition universelle proposée pour ce kit intra-osseux d'urgence serait de :

- Préparation :
- ✓ Un set à pansement simple : 0,5 € HT
 - ✓ Un champ de soin stérile 45 x 75 cm : 0,39 € HT
 - ✓ Un masque chirurgical : 0,05 € HT
 - ✓ Une solution hydroalcoolique de 100 mL : 0,50 € HT
 - ✓ Un flacon d'antiseptique alcoolique Chlorhexidine 2 % : 3,11 € HT
 - ✓ Une paire de gants stériles T6, T7 et T8 : 0,34 € HT
- Perfusion :
- ✓ Une seringue de 5, 10, 30 et 60 mL : 0,44 € HT
 - ✓ Une poche de 1000 mL NaCl 0,9 % : 0,67 € HT
 - ✓ Deux seringues préremplies de 10 mL NaCl 0,9 % : 0,74 € HT
 - ✓ Deux ampoules de Lidocaïne 2 % : 1,5 € HT
 - ✓ Un raccord en Y ou un raccord EZ-IO : 2 € HT ou 4,15 € HT
 - ✓ Une tubulure à perfusion simple avec robinet trois voies : 0,33 € HT
 - ✓ Un sparadrap adhésif stérile : 0,26 € HT
 - ✓ Une poche de contre-pression : 15,20 € HT
- Analyse :
- ✓ +/- tubes de prélèvements sanguins : 0,05 € HT à 1,05 € HT

Le coût de base des DM associés serait donc au maximum de 29,23 € HT (tarifs marché UniHA 2020) pour lequel il faudrait ajouter le coût du dispositif médical IO.

Concernant le choix du dispositif intra-osseux incorporé au kit, nous pouvons proposer un trocart manuel de type aiguille de Cook™ avec deux tailles différentes, au tarif unitaire de 50,4 € HT, ou un dispositif motorisé EZ-IO® avec un jeu d'aiguille de chaque taille, au tarif unitaire de 280 € HT pour la perceuse et de 107 € HT pour chaque jeu d'aiguilles. Le tarif total serait de 100,8 € HT pour un dispositif manuel et de 601 € HT pour un dispositif motorisé (tarifs marché UniHA 2020).

Au final, le cout approximatif du kit IO complet manuel serait de 130,03 € HT et le kit IO motorisé serait tarifé à 630,23 € HT.

Par ailleurs, un kit IO motorisé à visée pédiatrique pourrait être mis au point avec uniquement un jeu d'aiguille de 15 mm diminuant ainsi le prix total à 406,23 € HT. Néanmoins, dans certains cas pédiatriques, l'utilisation d'un dispositif motorisé semble non adaptée (faible épaisseur de tissus sous-cutanés, corticale osseuse fine ou fragile, site d'insertion à risques) et un recours à un dispositif manuel est souvent préconisé. De plus, il est recommandé de pouvoir pallier à une défaillance du système motorisé et de disposer de DM manuels. De ce fait, la mise à disposition concomitante de kits IO manuels et motorisés, à visée pédiatrique et adulte, demeurent essentielle.

Pour une structure hospitalière de taille moyenne (300 à 800 lits d'hospitalisations), nous pensons qu'une dotation mixte (manuels et motorisés) de 5 à 20 kits dans la réserve plan blanc serait théoriquement optimale.

2. Sac interventionnel « Damage Control »

Ce sac interventionnel d'urgence est dédié à une utilisation en traumatologie sévère ainsi que pour des blessures de guerre lors d'événements exceptionnels avec un nombre important de blessés. Sa composition en DM est un hybride entre le poste de secours mobile et les moyens habituellement disponibles dans les dotations des équipes mobiles. Contrairement au kit IO individuel, ce sac permet de prendre directement en charge cinq patients.

Inspiré du protocole militaire de gestion des traumatisés sévères « SAFE MARCHÉ RYAN », il est en cours de déploiement dans les véhicules légers du SAMU et les hélicoptères d'interventions. Son faible encombrement, son poids modéré et son déploiement rapide permettent son utilisation dans des zones spécifiques ou délicates d'accès (ravins, crevasses, centres commerciaux, etc...).

Concernant la partie « Accès vasculaire », le sac interventionnel se compose des dispositifs médicaux suivants :

- ✓ Un DM motorisé : 280 € HT
- ✓ Quatre aiguilles IO 45 mm 15 G pour DM motorisé : 428 € HT
- ✓ Une aiguille IO 25 mm 15 G pour DM motorisé : 107 € HT
- ✓ Cinq poches de 250 mL NaCl 0,9 % : 2,55 € HT
- ✓ Cinq ampoules de Lidocaïne 2 % : 3,75 € HT
- ✓ Trois paires de gants stériles T6 et T8 : 0,66 € HT
- ✓ Cinq kits de perfusion (comprenant chacun : un cathéter IV 16 G, un cathéter IV 18 G, un cathéter IV 20 G, une tubulure avec robinet trois voies, un pansement film transparent, deux packs de compresses, deux compresses pré-imprégnées de Chlorhexidine 2 %) : 26,45 € HT
- ✓ Cinq seringues préremplies de 10 mL NaCl 0,9 % : 1,85 € HT
- ✓ Cinq couvertures de survie : 4,35 € HT
- ✓ Un kit de prélèvement sanguin avec 10 tubes différents : 1,05 € HT
- ✓ Cinq poches de contre-pression : 76 € HT



Figure 117 - Photographie du sac interventionnel SAMU "Damage Control" en cours de déploiement

Le coût moyen du compartiment « accès vasculaire » est de 931,66 € HT, ce qui permet au final de ramener le traitement IO d'un patient à 186,33 € HT. Le tarif global approximatif d'un sac « Damage Control » est d'environ 1 810 € HT. L'accès vasculaire IO représente donc la moitié des dépenses du sac interventionnel.

Ces types de sacs d'urgences sont voués à se développer au vu de leur praticité et de leur bon rapport économique. En effet, l'accès IO revient ainsi 3 fois moins cher qu'un kit IO individuel de par la mutualisation des DM.

3. Kit mobile « Montagne »

La mise en place d'un kit IO léger avec un poids réduit au strict nécessaire, petit, très peu encombrant et spécifique au contexte des urgences en montagne pourrait s'avérer capital face aux différentes contraintes de ce milieu si particulier.

Dans le contexte d'une évacuation hélicoptérée, le médecin urgentiste héliporté est le plus souvent le seul soignant à intervenir pour pratiquer une perfusion IO. Ce kit pourrait être personnalisé, selon les techniques d'insertions privilégiées par l'urgentiste, afin d'accélérer la prise en charge du patient vers la structure hospitalière la plus proche.

Un kit standardisé comprendrait à minima les dispositifs suivants :

- ✓ Un DM motorisé et ses trois tailles d'aiguilles : 601 € HT
- ✓ Deux dispositifs manuels en 14 G et 15 G : 100,8 € HT
- ✓ Deux poches de 500 mL NaCl 0,9 % : 1,62 € HT
- ✓ Deux ampoules de Lidocaïne 2 % : 1,5 € HT
- ✓ Deux paires de gants stériles T6 ou T8 : 0,22 € HT
- ✓ Deux compresses pré-imprégnées de Chlorhexidine 2 % : 1,15 € HT
- ✓ Une seringue de 20 ml et de 60 mL : 0,22 € HT
- ✓ Deux seringues préremplies de 10 mL NaCl 0,9 % : 0,74 € HT
- ✓ Une tubulure à perfusion simple avec robinet trois voies : 0,33 € HT
- ✓ Un prolongateur court : 0,69 € HT
- ✓ Un sparadrap adhésif stérile : 0,26 € HT
- ✓ Deux couvertures de survie : 1,74 € HT
- ✓ Une poche de contre-pression : 15,20 € HT

Un kit reviendrait ainsi à un tarif total de 725,47 € HT avec un coût de DM associés à 23,67 € HT. Par ailleurs, si nous prenons en compte la réutilisation de la perceuse IO et l'utilisation d'une seule taille d'aiguille IO par sortie montagne, le kit aurait un coût de revient par patient beaucoup plus abordable d'environ 230 à 390 € HT.

IX. Conclusion

Bien qu'anciennement délaissée au profit de la voie IV, la perfusion intra-osseuse revient sur le devant avec ses nombreux avantages :

- Diminution du délai de prise en charge et de la mortalité des patients
- Utilisation polyvalente sur tous les types de terrains
- Large gamme de médicaments et de solutés administrables
- Possibilité de débits élevés
- Peu de contre-indications
- Risque faible de complications
- Gain de temps médecin et infirmier
- Facilité d'utilisation et de mise en place des DM IO après une formation adaptée
- Compétence facile à maintenir dans le temps
- Certains dosages biologiques possibles

La VIO possède de plus en plus d'indications et peu de contre-indications d'utilisations. Le taux de succès de cette voie est élevé quand elle est réalisée par du personnel médical formé et expérimenté et le taux de complications est faible(247). De plus, la grande diversité de sites d'insertions et dispositifs médicaux permet une prise en charge optimale et personnalisée selon le profil du patient et de son contexte pathologique.

La voie intra-osseuse reste fortement sous-utilisée en France par rapport aux pays anglo-saxons (Angleterre, Etats-Unis, Canada, Australie)(128). Il serait intéressant que les infirmiers français puissent être autorisés à poser ce type de voie d'abord en complément des médecins.

Par ailleurs, le pharmacien hospitalier apporte également sa contribution dans le secteur préhospitalier et hospitalier du SMUR et de l'urgence-réanimation où il est habituellement peu présent. L'élaboration de nouveaux outils cliniques, la présence pharmaceutique dans les services de soins et la formation au juste usage sont la clef de voûte de la pharmacie clinique appliquée aux dispositifs médicaux. Ses nouvelles missions pharmaceutiques font également partie intégrante du contrat d'amélioration de la qualité et de l'efficacité des soins dans la mise en œuvre d'une stratégie de déploiement de la pharmacie clinique intégrée à la politique de management et de la conciliation médicamenteuse.

BIBLIOGRAPHIE

1. Rosetti V, Thompson B, Aprahamian C, Darin J, Mateer J. Difficulty and delay in intravascular access in pediatric arrests. *Ann Emerg Med.* mai 1984;13(5):406.
2. Riley RS, Hogan TF, Pavot DR, Forysthe R, Massey D, Smith E, et al. A pathologist's perspective on bone marrow aspiration and biopsy: I. Performing a bone marrow examination. *J Clin Lab Anal.* 2004;18(2):70-90.
3. Beifuss K. Anatomie et physiopathologie en soins infirmiers. Elsevier Masson; 2018. 672 p.
4. Vascularisation de l'os et de la moelle osseuse - Atlas d'histopathologie clinique de la moelle osseuse et des os. Vol. p28-35. Masson; 1997.
5. Laroche M. Intraosseous circulation from physiology to disease. *Joint Bone Spine.* mai 2002;69(3):262-9.
6. Shoor PM, Berryhill RE, Benumof JL. Intraosseous infusion: pressure-flow relationship and pharmacokinetics. *J Trauma.* oct 1979;19(10):772-4.
7. Berg RA. Emergency infusion of catecholamines into bone marrow. *Am J Dis Child* 1960. sept 1984;138(9):810-1.
8. Burgert JM. A primer on intraosseous access: History, clinical considerations, and current devices. *Am J Disaster Med.* 2016;11(3):167-73.
9. Jaffé RH. The bone marrow: clinical lecture at kansas session. *J Am Med Assoc.* 11 juill 1936;107(2):124.
10. Claudet I, Alberge C, Bloom MC, Friès F, Lelong-Tissier MC. Intraosseous infusion in children. *Ann Fr Anesth Reanim.* mars 1999;18(3):313-8.
11. Fiser DH. Intraosseous Infusion. *N Engl J Med.* 31 mai 1990;322(22):1579-81.
12. Kruse JA, Vyskocil JJ, Haupt MT. Intraosseous infusions: a flexible option for the adult or child with delayed, difficult, or impossible conventional vascular access. *Crit Care Med.* mai 1994;22(5):728-9.
13. Mechanik N. Untersuchungen über das Gewicht des Knochenmarkes des Menschen. *Z Für Gesamte Anat.* 1926;(79):58.
14. Buck ML, Wiggins BS, Sesler JM. Intraosseous drug administration in children and adults during cardiopulmonary resuscitation. *Ann Pharmacother.* oct 2007;41(10):1679-86.
15. Kortbeek JB, Al Turki SA, Ali J, Antoine JA, Bouillon B, Brasel K, et al. Advanced trauma life support, 8th edition, the evidence for change. *J Trauma.* juin 2008;64(6):1638-50.
16. Minville V, Pianezza A, Asehnoune K, Cabardis S, Smail N. Prehospital intravenous line placement assessment in the French emergency system: a prospective study. *Eur J Anaesthesiol.* juill 2006;23(7):594-7.
17. O'Gorman M, Trabulsy P, Pilcher DB. Zero-time prehospital i.v. *J Trauma.* janv 1989;29(1):84-6.
18. INSEE. Bilan démographique de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques pour l'année 2015.
19. Santé Publique France. Analyse des données du Centre d'épidémiologie des causes de décès (CépiDc) [Internet]. 2019 [cité 21 janv 2020]. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/traumatismes/articles/analyse-des-donnees-du-centre-d-epidemiologie-des-causes-de-deces-cepidc>

20. LaRocco BG, Wang HE. Intraosseous infusion. *Prehospital Emerg Care Off J Natl Assoc EMS Physicians Natl Assoc State EMS Dir.* juin 2003;7(2):280-5.
21. Orłowski JP. Emergency alternatives to intravenous access. Intraosseous, intratracheal, sublingual, and other-site drug administration. *Pediatr Clin North Am.* déc 1994;41(6):1183-99.
22. Wagner M, Olischar M, O'Reilly M, Goeral K, Berger A, Cheung P-Y, et al. Review of Routes to Administer Medication During Prolonged Neonatal Resuscitation. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc.* 2018;19(4):332-8.
23. Soltes GD, Barth MH, Roehm JO. Preventing complications of central venous catheterization. *N Engl J Med.* 26 juin 2003;348(26):2684-6; author reply 2684-2686.
24. Koenraad G. and all. ERC Guidelines for resuscitation 2015.
25. Greaves M. Molecular genetics, natural history and the demise of childhood leukaemia. *Eur J Cancer Oxf Engl* 1990. févr 1999;35(2):173-85.
26. Hoskins SL, do Nascimento P, Lima RM, Espana-Tenorio JM, Kramer GC. Pharmacokinetics of intraosseous and central venous drug delivery during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation.* janv 2012;83(1):107-12.
27. Cosnett JE. The origins of intravenous fluid therapy. *Lancet Lond Engl.* 8 avr 1989;1(8641):768-71.
28. Christot J-M-FD (1841-1871) A du texte. Recherches anatomiques et physiologiques sur la moelle des os longs [Internet]. Paris: Adrien Delaflaye, Libraire-Editeur de l'Ecole de Medecine de Paris; 1865 [cité 21 janv 2020]. Disponible sur: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6210431w>
29. Reddy G, Thangavelu M. A new technique in sternal puncture. *Indian Med Gaz.* 1945;502-4.
30. Ghedini G. Per la patogenesi e per la diagnosi delle malattie del sangue e degli organi emopoietici, punctura esplorativa del midollo osseo. *Clin Med Ital.* 1908;5(724).
31. Drinker CK, Drinker KR. A method for maintaining an artificial circulation through the tibia of the dog, with a demonstration of the vasomotor control of the marrow vessels. *Am J Physiol-Leg Content.* 1 juin 1916;40(4):514-21.
32. Drinker CK, Drinker KR, Lund CC. The circulation in the mammalian bone-marrow. 1922;62(1):1-92.
33. Schroeder H, Seyfarth H. Studies on the blood circulation of patients in plaster casts. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1960;92:283-8.
34. Arinkin MI. Die intravitale Untersuchungs-methodik des Knochenmarks. *Folia Haematol.* 1929;(38):233.
35. Chekulaev GN. History of sternal puncture suggested by M. I. Arinkin. *Klin Med (Mosk).* oct 1973;51(10):142-3.
36. Hernigou P. The history of bone marrow in orthopaedic surgery (part I trauma): trepanning, bone marrow injection in damage control resuscitation, and bone marrow aspiration to heal fractures. *Int Orthop.* avr 2020;44(4):795-808.
37. Josefson A. A New Method of Treatment — Intraossal Injections. *Acta Med Scand.* 1934;81(5-6):550-64.
38. Mallarmé J. Etude du myélogramme normal et pathologique par ponction sternale. G Doin Cie. Paris 1937;
39. Pfaundler M v, Schittenhelm A. Ergebnisse der Inneren Medizin und Kinderheilkunde: Sechsendfünfzigster Band. Springer-Verlag; 1939. 788 p.

40. Benda R. Renseignements fournis par les injections intramédullaires de sang humain chez le cobaye. *Sang.* 1937;(11):659.
41. Benda R, Orinstein E, Depitre. Injections intramédullaires osseuses de substances opaques chez l'homme. *Sang.* 1940;(14):172.
42. Tocantins LM, O'Neill JF, Price AH. Infusions of blood and other fluids via the bone marrow in traumatic shock and other forms of peripheral circulatory failure. *Ann Surg.* déc 1941;114(6):1085-92.
43. Tocantins LM. Rapid absorption of substances injected into the bone marrow. *Am J Med.* 1 nov 1951;11(5):568-70.
44. Dubick MA, Holcomb JB. A review of intraosseous vascular access: current status and military application. *Mil Med.* juill 2000;165(7):552-9.
45. Foëx BA. Discovery of the intraosseous route for fluid administration. *J Accid Emerg Med.* mars 2000;17(2):136-7.
46. US Navy Medical Forces. United States Naval Medical Bulletin. U.S. Government Printing Office; 1945. 1324 p.
47. Bruttig S, Kramer G. Clinical Record of Emergency Vascular Access Using Adult Intraosseous (IO) Devices. 1 sept 2004;15.
48. Papper EM. The bone marrow route for injecting fluids and drugs into the general circulation. *Anesthesiol J Am Soc Anesthesiol.* 1 mai 1942;3(3):307-13.
49. Macht DI. Studies on intraosseous injections of epinephrine. *Am J Physiol-Leg Content.* 1 janv 1943;138(2):269-72.
50. Goerig M, Agarwal-Koslowski K. The bone marrow as a site for the reception of infusions, transfusions and anaesthetic agents. *Int Congr Ser.* déc 2002;1242:105-12.
51. Bauer KH, Brunner A. *Ergebnisse der Chirurgie und Orthopädie.* Springer-Verlag; 1967. 196 p.
52. Junghanns H. Die intrasternale Evipan-Narkose. *Zentralblatt Für Chir.* 1943;(26):931-5.
53. Bark J. *Lehrbuch der Anaesthesiologie.* Springer-Verlag; 1955. 803 p.
54. Weese H. Pharmakologie des intravenösen Kurz-narkotikums Evipan-natrium. *Dtsch Med Wochenschr.* 1933;1:47-8.
55. Collier HE. Shock Therapy. *Br Med J.* 26 févr 1944;1(4338):305-305.
56. Behr G. Bone-marrow infusions for infants. *The Lancet.* 7 oct 1944;244(6319):477-8.
57. Elston JT, Jaynes RV. Intraosseous infusions in infants. *Am J Clin Pathol.* févr 1947;17(2):143-50.
58. Henning N. Intrasternal and intraosseous injections and transfusions. *JAMA.* 1945;128:240.
59. Henning N, Korth J. Die diagnostische Sternalpunktion. Eine neue Untersuchungsmethode des Knochenmarks in vivo. *Dtsch Clin Wochenschr.* 1934;(34):1219-20.
60. Van den Berghe L, Blitstein I. Homogénéité de la moelle osseuse humaine prélevée par ponction dans le sternum et la crête iliaque. *Comptes Rendus Séances Société Biol Ses Fil.* 1945;139:325-7.

61. Heidenreich A, Heidenreich G. La biopsia de la medula osea por puncion de las apofisis espinosas de las vertebrae lumbares. *Prensa Medica J.* 1936;(23):2818.
62. Tocantins LM, O'neill JF. Complications of Intra-Osseous Therapy. *Ann Surg.* août 1945;122(2):266-77.
63. Antonin null. The treatment of the thrombosis of low extremities with intraossal injections of heparin. *Proces-Verbaux Expo Discuss Congr Soc Int Chir Int Soc Surg.* 1948 1947;12 Congr. (1 vol.):692-4.
64. Leontev FL. Introduction of theurapeutic and diagnostic substances through the sternal bone marrow. *Khirurgiia (Sofii).* 1948;(2):25-33.
65. Foldes FF, Swerdlow M, Siker ES. *Morphinartige Analgetika und ihre Antagonisten: Chemie, Pharmakologie, Anwendung in der Anaesthesiologie und der Geburtshilfe.* Springer-Verlag; 1968. 395 p.
66. Lamprecht W. Zweckmaessiges Sternal-Besteck fuer Infusion, Transfusion und Narkose. *Dtsch Med Wochenschr.* 1949;(51):1380-1.
67. Massa DJ, Lundy JS, Faulconer A, Ridley RW. A plastic needle. *Proc Staff Meet Mayo Clin.* 5 juill 1950;25(14):413-5.
68. Propp S. An improved technic of bone marrow aspiration. *Blood.* juill 1951;6(7):585-99.
69. Bierman HR. Bone marrow aspiration the posterior iliac crest, an additional safe site. *Calif Med.* août 1952;77(2):138-9.
70. Valdés M. Intraosseous fluid administration in emergencies. *Lancet Lond Engl.* 11 juin 1977;1(8024):1235-6.
71. Orłowski JP. My Kingdom for an Intravenous Line. *Am J Dis Child.* 1 sept 1984;138(9):803-803.
72. American Heart Association. *Textbook of advanced cardiac life support.* American Heart Association; 1994. 348 p.
73. Chameides L. Cardiopulmonary resuscitation: standards, guidelines, and education. *Pediatrics.* mars 1987;79(3):446-9.
74. Paxton JH. Intraosseous vascular access: A review. *Trauma.* 1 juill 2012;14(3):195-232.
75. Guidelines for paediatric life support. Paediatric Life Support Working Party of the European Resuscitation Council. *BMJ.* 21 mai 1994;308(6940):1349-55.
76. Oriot D, Cardona J, Berthier M, Nasimi A, Boussemart T. La voie intra-osseuse, une voie d'abord vasculaire méconnue en France. *Arch Pediatr.* 1994;(1):684-8.
77. Guidelines 2000 for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Part 10: pediatric advanced life support. The American Heart Association in collaboration with the International Liaison Committee on Resuscitation. *Circulation.* 22 août 2000;102(8 Suppl):I291-342.
78. Cayley W. 2005 AHA Guidelines for CPR and Emergency Cardiac Care. *Am Fam Physician.* 1 mai 2006;73(9):1644.
79. Kleinman ME, de Caen AR, Chameides L, Atkins DL, Berg RA, Berg MD, et al. Part 10: Pediatric basic and advanced life support: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation.* 19 oct 2010;122(16 Suppl 2):S466-515.

80. Kleinman ME, Chameides L, Schexnayder SM, Samson RA, Hazinski MF, Atkins DL, et al. Part 14: pediatric advanced life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2 nov 2010;122(18 Suppl 3):S876-908.
81. Nolan JP, Deakin CD, Soar J, Böttiger BW, Smith G, European Resuscitation Council. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 4. Adult advanced life support. *Resuscitation*. déc 2005;67 Suppl 1:S39-86.
82. Biarent D, Bingham R, Richmond S, Maconochie I, Wyllie J, Simpson S, et al. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 6. Paediatric life support. *Resuscitation*. déc 2005;67 Suppl 1:S97-133.
83. NASA. Evaluation of Intraosseous (IO) Devices as Possible Adjunct to Intravenous Drug Administration during Space Flight. *Aviation Space and Environmental Medicine*. 79(3):129. 2008;
84. Komorowski M, Fleming S, Kirkpatrick AW. Fundamentals of Anesthesiology for Spaceflight. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. juin 2016;30(3):781-90.
85. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Emergency Medical Procedures Manual for the International Space Station (ISS). 2016;65.
86. NASA. C-9 and Other Microgravity Simulations. 2007.
87. Biarent D, Bingham R, Eich C, López-Herce J, Maconochie I, Rodríguez-Núñez A, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 6. Paediatric life support. *Resuscitation*. oct 2010;81(10):1364-88.
88. Chávez-Negrete A, Majluf Cruz S, Frati Munari A, Perches A, Argüero R. Treatment of hemorrhagic shock with intraosseous or intravenous infusion of hypertonic saline dextran solution. *Eur Surg Res Eur Chir Forsch Rech Chir Eur*. 1991;23(2):123-9.
89. Cooper BR, Mahoney PF, Hodgetts TJ, Mellor A. Intra-osseous access (EZ-IO®) for resuscitation: UK military combat experience. *J R Army Med Corps*. déc 2007;153(4):314-6.
90. Seyfarth CP. Die Sternumtrepanation, eine einfache Methode zur diagnostischen Entnahme von Knochenmark bei Lebenden. *Deutschen Alexander-Hospitals in Petersburg*; 1923.
91. Emery JL. The technique of bone marrow aspiration in children. *J Clin Pathol*. nov 1957;10(4):339-41.
92. Klima R. Sternalpunktion und Knochenmarksbild bei Blutkrankheiten. *Urban Schwarz*; 1938.
93. Parapia LA. Trepanning or trephines: a history of bone marrow biopsy. *Br J Haematol*. oct 2007;139(1):14-9.
94. Silverman I. A new biopsy needle. *Am J Surg*. juin 1938;40(3):671-2.
95. Silverman I. Improved Vim-Silverman biopsy needle. *J Am Med Assoc*. 17 juill 1954;155(12):1060.
96. Osgood E, Riddle M, Mathews T. Aplastic anemia treated with daily transfusions and intravenous marrow; case report. *Ann Intern Med*. 1 août 1939;13(2):357.
97. Turkel H, Bethell F. A new and simple instrument for administration of fluids through bone marrow. *War Med*. 1944;5(5):222-5.
98. Bailey H. Sternal trocar and cannula. *BMJ*. 1-499: 1947.
99. Gimson JD. Bone-marrow Transfusion in Infants and Children. *BMJ*. 3 juin 1944;1(4352):748-9.

100. Waterfield RL. Sternal-puncture needle. *Lancet Lond Engl.* 20 avr 1946;1(6399):576.
101. Limarzi LR, Bedinger PL. A Modified and Improved Sternal Puncture Needle. *Am J Clin Pathol.* 1 nov 1948;18(11_ts):913-5.
102. Trejo-Ayala RA, Luna-Pérez M, Gutiérrez-Romero M, Collazo-Jaloma J, Cedillo-Pérez MC, Ramos-Peñañiel CO. Bone marrow aspiration and biopsy. Technique and considerations. *Rev Médica Hosp Gen México.* oct 2015;78(4):196-201.
103. Baserga A. Technic of sternal puncture. *Riforma Med.* 1934;(50):1707.
104. Weller GL. A method of obtaining biopsy specimens of sternal bone marrow by the use of a spinal needle. *J Lab Clin Med.* 1937;(22):752.
105. Jones RM. A new needle for the treatment of shock by sternal infusion. *Surg Gynecol Obstet.* 1943;(76):587-8.
106. Sacker LS, Nordin BE. A simple bone biopsy needle. *Lancet Lond Engl.* 13 févr 1954;266(6807):347.
107. Hodge D. Intraosseous infusions: a review. *Pediatr Emerg Care.* déc 1985;1(4):215-8.
108. Welch RD, Waldron MJ, Hulse DA, Johnston CE, Hargis BM. Intraosseous infusion using the osteoport implant in the caprine tibia. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc.* nov 1992;10(6):789-99.
109. Castro D. Intraosseous administration of chemotherapy with osteoport | SBIR.gov. San Antonio, Texas, USA: Lifequest Medical; 1992.
110. Halm B, Yamamoto LG. Comparing ease of intraosseous needle placement: Jamshidi versus cook. *Am J Emerg Med.* juill 1998;16(4):420-1.
111. Jamshidi K, Swaim WR. Bone marrow biopsy with unaltered architecture: a new biopsy device. *J Lab Clin Med.* févr 1971;77(2):335-42.
112. Islam A. New sternal puncture needle. *J Clin Pathol.* août 1991;44(8):690-1.
113. Islam A. A new posterior iliac puncture/aspiration needle. *J Clin Pathol.* 25 mars 2016;
114. Dickinson E, Real K, Oveland N, Russell M. Critical times: comparison of two intraosseous devices. Prometheus Deltatech Medical™. 2018;
115. Halvorsen L, Bay BK, Perron PR, Gunther RA, Holcroft JW, Blaisdell FW, et al. Evaluation of an intraosseous infusion device for the resuscitation of hypovolemic shock. *J Trauma.* juin 1990;30(6):652-8; discussion 658-659.
116. Calkins MD, Fitzgerald G, Bentley TB, Burris D. Intraosseous infusion devices: a comparison for potential use in special operations. *J Trauma.* juin 2000;48(6):1068-74.
117. Marvin A. Wayne. Adult Intraosseous Access: An Idea Whose Time Has Come. *Isr J Emerg Med.* 2006;6(2).
118. Miller DD, Guimond G, Hostler DP, Platt T, Wang HE. Feasibility of sternal intraosseous access by emergency medical technician students. *Prehospital Emerg Care Off J Natl Assoc EMS Physicians Natl Assoc State EMS Dir.* mars 2005;9(1):73-8.
119. Sørgerd R, Sunde GA, Heltne J-K. Comparison of two different intraosseous access methods in a physician-staffed helicopter emergency medical service – a quality assurance study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* déc 2019;27(1):15.

120. Macnab A, Christenson J, Findlay J, Horwood B, Johnson D, Jones L, et al. A new system for sternal intraosseous infusion in adults. *Prehospital Emerg Care Off J Natl Assoc EMS Physicians Natl Assoc State EMS Dir.* juin 2000;4(2):173-7.
121. Singh S, Aggarwal P, Lodha R, Agarwal R, Gupta A, Dhingra R, et al. Feasibility study of a novel intraosseous device in adult human cadavers. *Indian J Med Res.* 2016;143(3):275.
122. Kalechstein S, Permual A, Cameron BM, Pemberton J, Hollaar G, Duffy D, et al. Evaluation of a new pediatric intraosseous needle insertion device for low-resource settings. *J Pediatr Surg.* mai 2012;47(5):974-9.
123. Kelsall AW. Resuscitation with intraosseous lines in neonatal units. *Arch Dis Child.* mars 1993;68(3 Spec No):324-5.
124. Olsen D, Packer BE, Perrett J, Balentine H, Andrews GA. Evaluation of the bone injection gun as a method for intraosseous cannula placement for fluid therapy in adult dogs. *Vet Surg VS.* déc 2002;31(6):533-40.
125. Spriggs null, White null, Martin null, Brawley null, Chambers null. Comparison of two intraosseous infusion techniques in an EMT training program. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med.* oct 2000;7(10):1168.
126. Plancade D, Rüttimann M, Wagnon G, Landy C, Schaeffer E, Gagnon N, et al. The intraosseous infusion in adult. *Ann Fr Anesth Reanim.* mai 2013;32(5):347-54.
127. Kehrl T, Becker BA, Simmons DE, Broderick EK, Jones RA. Intraosseous access in the obese patient: assessing the need for extended needle length. *Am J Emerg Med.* sept 2016;34(9):1831-4.
128. Teleflex Medical. Guide de poche du système d'accès vasculaire EZ-IO®. Arrow; 2017.
129. USA Nursing Consortium. Consensus Paper on the Use of Intraosseous Vascular Access for Emergent and Non-Emergent Situations. 2010;
130. Société Française d'Hygiène Hospitalière. Antisepsie de la peau saine avant geste invasif chez l'adulte - Recommandations pour la pratique clinique. *SF2H Risque Infect Soins.* mai 2016;24(2):92.
131. Tsung JW, Blaivas M, Stone MB. Feasibility of point-of-care colour Doppler ultrasound confirmation of intraosseous needle placement during resuscitation. *Resuscitation.* juin 2009;80(6):665-8.
132. Hôpitaux Universitaires de Genève. Cathéter intra-osseux : pose, soins, surveillances à Genève aux Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG) [Internet]. [cité 21 janv 2020]. Disponible sur: <https://www.hug-ge.ch/procedures-de-soins/catheter-intra-osseux-pose-soins-surveillances-0>
133. Mofenson HC, Tascone A, Caraccio TR. Guidelines for intraosseous infusions. *J Emerg Med.* 1 mars 1988;6(2):143-6.
134. Manley L, Haley K, Dick M. Intraosseous infusion: rapid vascular access for critically ill or injured infants and children. *J Emerg Nurs JEN Off Publ Emerg Dep Nurses Assoc.* avr 1988;14(2):63-9.
135. McCarthy G, O'Donnell C, O'Brien M. Successful intraosseous infusion in the critically ill patient does not require a medullary cavity. *Resuscitation.* févr 2003;56(2):183-6.
136. Fortner JG, Moss ES. Death following sternal puncture: report of two cases. *Ann Intern Med.* mars 1951;34(3):809-15.
137. Seigler RS, Tecklenburg FW, Shealy R. Prehospital intraosseous infusion by emergency medical services personnel: a prospective study. *Pediatrics.* juill 1989;84(1):173-7.

138. Warren DW, Kissoon N, Mattar A, Morrissey G, Gravelle D, Rieder MJ. Pharmacokinetics from multiple intraosseous and peripheral intravenous site injections in normovolemic and hypovolemic pigs. *Crit Care Med.* mai 1994;22(5):838-43.
139. Reades R, Studnek JR, Vandeventer S, Garrett J. Intraosseous versus intravenous vascular access during out-of-hospital cardiac arrest: a randomized controlled trial. *Ann Emerg Med.* déc 2011;58(6):509-16.
140. Reades R, Studnek JR, Garrett JS, Vandeventer S, Blackwell T. Comparison of first-attempt success between tibial and humeral intraosseous insertions during out-of-hospital cardiac arrest. *Prehospital Emerg Care Off J Natl Assoc EMS Physicians Natl Assoc State EMS Dir.* juin 2011;15(2):278-81.
141. Philbeck T. Pain Management with the use of IO. *JEMS* [Internet]. 1 sept 2010 [cité 21 janv 2020]; Disponible sur: <https://www.jems.com/2010/08/31/pain-management-use-io/>
142. Philbeck TE, Miller LJ, Montez D, Puga T. Hurts so good. Easing IO pain and pressure. *JEMS J Emerg Med Serv.* sept 2010;35(9):58-62, 65-6, 68.
143. Burgert JM, Johnson AD, O'Sullivan JC, Blalock WJ, Duffield BC, Albright BP, et al. Pharmacokinetic effects of endotracheal, intraosseous, and intravenous epinephrine in a swine model of traumatic cardiac arrest. *Am J Emerg Med.* 2019;37(11):2043-50.
144. Ong MEH, Chan YH, Oh JJ, Ngo AS-Y. An observational, prospective study comparing tibial and humeral intraosseous access using the EZ-IO®. *Am J Emerg Med.* janv 2009;27(1):8-15.
145. Fiorito BA, Mirza F, Doran TM, Oberle AN, Cruz ECV, Wendtland CL, et al. Intraosseous access in the setting of pediatric critical care transport. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc.* janv 2005;6(1):50-3.
146. Day MW. Intraosseous devices for intravascular access in adult trauma patients. *Crit Care Nurse.* avr 2011;31(2):76-89.
147. Iserson KV. Intraosseous infusions in adults. *J Emerg Med.* déc 1989;7(6):587-91.
148. Clem M, Tierney P. Intraosseous infusions via the calcaneus. *Resuscitation.* juill 2004;62(1):107-12.
149. Roberts J, Hedges J. Intraosseous infusions. *Clin Proced Emerg Med.* 1985;339-43.
150. Waisman M, Waisman D. Bone marrow infusion in adults. *J Trauma.* févr 1997;42(2):288-93.
151. Tarrow AB, Turkel H, Thompson MS. Infusions via the bone marrow and biopsy of the bone and bone marrow. *Anesthesiology.* sept 1952;13(5):501-9.
152. Iwama H, Katsumi A, Shinohara K, Kawamae K, Ohtomo Y, Akama Y, et al. Clavicular approach to intraosseous infusion in adults. *Fukushima J Med Sci.* juin 1994;40(1):1-8.
153. Luck RP, Haines C, Mull CC. Intraosseous access. *J Emerg Med.* oct 2010;39(4):468-75.
154. Goldschalt C, Doll S, Ihle B, Kirsch J, Mutzbauer TS. Intraosseous vascular access through the anterior mandible: a cadaver model pilot study. *PloS One.* 2014;9(11):e112686.
155. Bennike T, Gormsen H, Moller B. Comparative studies of bone marrow punctures of the sternum, the iliac crest, and the spinous process. *Acta Med Scand.* 15 oct 1956;155(5):377-96.
156. Dev SP, Stefan RA, Saun T, Lee S. Insertion of an Intraosseous Needle in Adults. *N Engl J Med.* 12 juin 2014;370(24):e35.

157. Szarpak L, Ramirez JG, Buljan D, Drozd A, Madziała M, Czyzewski L. Comparison of Bone Injection Gun and Jamshidi intraosseous access devices by paramedics with and without chemical-biological-radiological-nuclear personal protective equipment: a randomized, crossover, manikin trial. *Am J Emerg Med.* juill 2016;34(7):1307-8.
158. Greenstein YY, Koenig SJ, Mayo PH, Narasimhan M. A Serious Adult Intraosseous Catheter Complication and Review of the Literature. *Crit Care Med.* sept 2016;44(9):e904-909.
159. Brenner T, Bernhard M, Helm M, Doll S, Völkl A, Ganion N, et al. Comparison of two intraosseous infusion systems for adult emergency medical use. *Resuscitation.* sept 2008;78(3):314-9.
160. Shavit I, Hoffmann Y, Galbraith R, Waisman Y. Comparison of two mechanical intraosseous infusion devices: a pilot, randomized crossover trial. *Resuscitation.* sept 2009;80(9):1029-33.
161. Lewis P, Wright C. Saving the critically injured trauma patient: a retrospective analysis of 1000 uses of intraosseous access. *Emerg Med J EMJ.* juin 2015;32(6):463-7.
162. Davidoff J, Fowler R, Gordon D, Klein G, Kovar J, Lozano M, et al. Clinical evaluation of a novel intraosseous device for adults: prospective, 250-patient, multi-center trial. *JEMS J Emerg Med Serv.* oct 2005;30(10):suppl 20-23.
163. Santos D, Carron P-N, Yersin B, Pasquier M. EZ-IO® intraosseous device implementation in a pre-hospital emergency service: A prospective study and review of the literature. *Resuscitation.* avr 2013;84(4):440-5.
164. Harcke HT, Crawley G, Mabry R, Mazuchowski E. Placement of tibial intraosseous infusion devices. *Mil Med.* juill 2011;176(7):824-7.
165. Hafner JW, Bryant A, Huang F, Swisher K. Effectiveness of a Drill-assisted Intraosseous Catheter versus Manual Intraosseous Catheter by Resident Physicians in a Swine Model. *West J Emerg Med.* nov 2013;14(6):629-32.
166. Krishnan M, Lester K, Johnson A, Bardelozza K, Edemekong P, Berim I. Bent Metal in a Bone: A Rare Complication of an Emergent Procedure or a Deficiency in Skill Set? *Case Rep Crit Care.* 2016;2016:1-5.
167. La Fleche FR, Slepian MJ, Vargas J, Milzman DP. Iatrogenic bilateral tibial fractures after intraosseous infusion attempts in a 3-month-old infant. *Ann Emerg Med.* oct 1989;18(10):1099-101.
168. Bowley DMG, Loveland J, Pitcher GJ. Tibial fracture as a complication of intraosseous infusion during pediatric resuscitation. *J Trauma.* oct 2003;55(4):786-7.
169. Nijssen-Jordan C. Emergency department utilization and success rates for intraosseous infusion in pediatric resuscitations. *CJEM.* janv 2000;2(1):10-4.
170. Scherer J, Howe J. Fatal cardiac tamponade following sternal puncture. *J Lab Clin Med.* 1945;30:450-3.
171. Bardham D. Death from sternal puncture. *Indian M Gaz.* 1947;82:443-508.
172. Bakir F. FATAL STERNAL PUNCTURE; REPORT OF A CASE. *Dis Chest.* oct 1963;44:435-8.
173. Claudet I, Baunin C, Laporte-Turpin E, Marcoux MO, Grouteau E, Cahuzac JP. Long-term effects on tibial growth after intraosseous infusion: a prospective, radiographic analysis. *Pediatr Emerg Care.* déc 2003;19(6):397-401.
174. Fiser RT, Walker WM, Seibert JJ, McCarthy R, Fiser DH. Tibial length following intraosseous infusion: a prospective, radiographic analysis. *Pediatr Emerg Care.* juin 1997;13(3):186-8.
175. Spivey WH. Intraosseous infusions. *J Pediatr.* nov 1987;111(5):639-43.

176. Miner WF, Corneli HM, Bolte RG, Lehnhof D, Clawson JJ. Prehospital use of intraosseous infusion by paramedics. *Pediatr Emerg Care.* mars 1989;5(1):5-7.
177. Hallas P, Brabrand M, Folkestad L. Complication with Intraosseous Access: Scandinavian Users' Experience. *West J Emerg Med.* sept 2013;14(5):440-3.
178. Rosetti VA, Thompson BM, Miller J, Mateer JR, Aprahamian C. Intraosseous infusion: an alternative route of pediatric intravascular access. *Ann Emerg Med.* sept 1985;14(9):885-8.
179. Gillum L, Kovar J. Powered intraosseous access in the prehospital setting: MCHD EMS puts the EZ-IO to the test. *JEMS J Emerg Med Serv.* oct 2005;30(10):suppl 24-25.
180. Philbeck T, Miller L, Montez D. Pain Management During Intraosseous Infusion Through the Proximal Humerus. *Ann Emerg Med.* sept 2009;54(3):S128.
181. Stoll E, Golej J, Burda G, Hermon M, Boigner H, Trittenwein G. Osteomyelitis at the injection site of adrenalin through an intraosseous needle in a 3-month-old infant. *Resuscitation.* juin 2002;53(3):315-8.
182. Al-Ayed T. Gangrene of the leg following intraosseous infusion. *Ann Saudi Med.* 2008;28(6):456-7.
183. Launay F, Paut O, Katchburian M, Bourelle S, Jouve JL, Bollini G. Leg amputation after intraosseous infusion in a 7-month-old infant: a case report. *J Trauma.* oct 2003;55(4):788-90.
184. Fiallos M, Kissoon N, Abdelmoneim T, Johnson L, Murphy S, Lu L, et al. Fat embolism with the use of intraosseous infusion during cardiopulmonary resuscitation. *Am J Med Sci.* août 1997;314(2):73-9.
185. Hillewig E, Aghayev E, Jackowski C, Christe A, Plattner T, Thali MJ. Gas embolism following intraosseous medication application proven by post-mortem multislice computed tomography and autopsy. *Resuscitation.* janv 2007;72(1):149-53.
186. Orłowski JP, Julius CJ, Petras RE, Porembka DT, Gallagher JM. The safety of intraosseous infusions: risks of fat and bone marrow emboli to the lungs. *Ann Emerg Med.* oct 1989;18(10):1062-7.
187. Ribeiro JA, Price CT, Knapp DR. Compartment syndrome of the lower extremity after intraosseous infusion of fluid. A report of two cases. *J Bone Joint Surg Am.* mars 1993;75(3):430-3.
188. Malhotra R, Chua W, O'Neill G. Calf Compartment Syndrome associated with the Use of an Intra-osseous Line in an Adult Patient: A Case Report. *Malays Orthop J.* nov 2016;10(3):49-51.
189. Molacek J, Houdek K, Opatrný V, Fremuth J, Sasek L, Treskova I, et al. Serious Complications of Intraosseous Access during Infant Resuscitation. *Eur J Pediatr Surg Rep.* janv 2018;6(1):e59-62.
190. Quilligan J Jr, Turkel H. Bone marrow infusion and its complications. *Am J Dis Child.* 1 mai 1946;71(5):457-65.
191. Fetissov H, Nadaud J, Landy C, Millot I, Paris R, Plancade D. Amines on intraosseous vascular access: a case of skin necrosis. *Ann Fr Anesth Reanim.* mai 2013;32(5):e89-90.
192. Christensen DW, Vernon DD, Banner W, Dean JM. Skin necrosis complicating intraosseous infusion. *Pediatr Emerg Care.* oct 1991;7(5):289-90.
193. Hurren JS, Dunn KW. Intraosseous infusion for burns resuscitation. *Burns J Int Soc Burn Inj.* juin 1995;21(4):285-7.
194. Bilello JF, O'Hair KC, Kirby WC, Moore JW. Intraosseous infusion of dobutamine and isoproterenol. *Am J Dis Child* 1960. févr 1991;145(2):165-7.

195. Orlowski JP, Porembka DT, Gallagher JM, Lockrem JD, VanLente F. Comparison study of intraosseous, central intravenous, and peripheral intravenous infusions of emergency drugs. *Am J Dis Child* 1990. janv 1990;144(1):112-7.
196. Neish SR, Macon MG, Moore JW, Graeber GM. Intraosseous infusion of hypertonic glucose and dopamine. *Am J Dis Child* 1990. août 1988;142(8):878-80.
197. Selby IR, James MR. The intraosseous route for induction of anaesthesia. *Anaesthesia*. nov 1993;48(11):982-4.
198. Stewart FC, Kain ZN. Intraosseous infusion: elective use in pediatric anesthesia. *Anesth Analg*. oct 1992;75(4):626-9.
199. Waisman M, Roffman M, Bursztein S, Heifetz M. Intraosseous regional anesthesia as an alternative to intravenous regional anesthesia. *J Trauma*. déc 1995;39(6):1153-6.
200. Heinild S, Sondergaard T, Tudvad F. Bone marrow infusion in childhood; experiences from a thousand infusions. *J Pediatr*. avr 1947;30(4):400-12.
201. Weiser G, Poppa E, Katz Y, Bahouth H, Shavit I. Intraosseous blood transfusion in infants with traumatic hemorrhagic shock. *Am J Emerg Med*. mars 2013;31(3):640.e3-640.e4.
202. Winkler M, Talley C, Woodward C, Kingsbury A, Appiah F, Elbelasi H, et al. The use of intraosseous needles for injection of contrast media for computed tomographic angiography of the thoracic aorta. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. juin 2017;11(3):203-7.
203. Burgert JM. Intraosseous infusion of blood products and epinephrine in an adult patient in hemorrhagic shock. *AANA J*. oct 2009;77(5):359-63.
204. Mader TJ, Walterscheid JK, Kellogg AR, Lodding CC. The feasibility of inducing mild therapeutic hypothermia after cardiac resuscitation using iced saline infusion via an intraosseous needle. *Resuscitation*. janv 2010;81(1):82-6.
205. Von Hoff DD, Kuhn JG, Burriss HA, Miller LJ. Does intraosseous equal intravenous? A pharmacokinetic study. *Am J Emerg Med*. janv 2008;26(1):31-8.
206. Nolan JP, Deakin CD, Ji C, Gates S, Rosser A, Lall R, et al. Intraosseous versus intravenous administration of adrenaline in patients with out-of-hospital cardiac arrest: a secondary analysis of the PARAMEDIC2 placebo-controlled trial. *Intensive Care Med*. 30 janv 2020;
207. Jaimovich DG, Kumar A, Francom S. Evaluation of intraosseous vs intravenous antibiotic levels in a porcine model. *Am J Dis Child* 1990. août 1991;145(8):946-9.
208. Jaimovich DG, Kecskes S. Intraosseous infusion: a re-discovered procedure as an alternative for pediatric vascular access. *Indian J Pediatr*. juin 1991;58(3):329-34.
209. Johnson D, Garcia-Blanco J, Burgert J, Fulton L, Kadilak P, Perry K, et al. Effects of humeral intraosseous versus intravenous epinephrine on pharmacokinetics and return of spontaneous circulation in a porcine cardiac arrest model: A randomized control trial. *Ann Med Surg* 2012. sept 2015;4(3):306-10.
210. Johnson D, Giles K, Acuna A, Saenz C, Bentley M, Budinich C. Effects of tibial intraosseous and IV administration of vasopressin on kinetics and survivability in cardiac arrest. *Am J Emerg Med*. mars 2016;34(3):429-32.
211. Warren D. Comparison of fluid infusion rates among peripheral intravenous and humerus, femur, malleolus, and tibial intraosseous sites in normovolemic and hypovolemic piglets. *Ann Emerg Med*. 1993;6(183).

212. JORF n°0060 du 12 mars 2009. Arrêté du 10 février 2009 fixant les conditions exigées pour les véhicules et les installations matérielles affectés aux transports sanitaires terrestres. p. 4548.
213. Applebaum D. Advanced prehospital care for pediatric emergencies. *Ann Emerg Med.* juill 1985;14(7):656-9.
214. Czesniewicz-Majcher A, Ghazali A, Lardeur J-Y, Oriot D. A Prospective Area-Based Analysis of the use of Intraosseous Access in Children. *Austin Pediatr.* 2016;1(3).
215. Smith R, Davis N, Bouamra O, Lecky F. The utilisation of intraosseous infusion in the resuscitation of paediatric major trauma patients. *Injury.* sept 2005;36(9):1034-8; 1039.
216. Lavis M, Vaghela A, Tozer C. Adult intraosseous infusion in accident and emergency departments in the UK. *J Accid Emerg Med.* janv 2000;17(1):29-32.
217. Scrivens A, Reynolds P, Emery F, Roberts C, Polglase G, Hooper S, et al. Use of Intraosseous Needles in Neonates: A Systematic Review. *Neonatology.* 2019;4(116):305-14.
218. Nicolas X, Simon F, Costiou F, Cloatre G. Réhydratation intra-osseuse d'urgence au trocart de Mallarmé : une voie d'abord d'exception, un matériel salubre. *Arch Pédiatrie.* 2013;10(8):733-4.
219. Drozd A, Madziła M. Nurses' attitudes and beliefs concerning intraosseous access in pediatric patients. *Am J Emerg Med.* sept 2016;34(9):1890.
220. Mogale N, van Schoor A-N, Bosman MC. A theoretical alternative intraosseous infusion site in severely hypovolemic children. *Afr J Prim Health Care Fam Med.* 23 juill 2015;7(1).
221. Glaeser PW, Losek JD. Emergency intraosseous infusions in children. *Am J Emerg Med.* janv 1986;4(1):34-6.
222. Arbeiter HI, Greengard J. Tibial bone marrow infusions in infancy. *J Pediatr.* 1 juill 1944;25(1):1-12.
223. Pollack CV, Pender ES, Woodall BN, Tubbs RC, Iyer RV, Miller HW. Long-term local effects of intraosseous infusion on tibial bone marrow in the weanling pig model. *Am J Emerg Med.* janv 1992;10(1):27-31.
224. Abe T, Sakane M, Ikoma T, Kobayashi M, Nakamura S, Ochiai N. Intraosseous delivery of paclitaxel-loaded hydroxyapatitealginate composite beads delaying paralysis caused by metastatic spine cancer in rats. *J Neurosurg Spine.* nov 2008;9(5):502-10.
225. Strandberg G, Larsson A, Lipcsey M, Eriksson M. Comparison of Intraosseous, Arterial, and Venous Blood Sampling for Laboratory Analysis in Hemorrhagic Shock. *Clin Lab.* 1 juill 2019;65(7).
226. Orłowski JP, Porembka DT, Gallagher JM, Van Lente F. The bone marrow as a source of laboratory studies. *Ann Emerg Med.* déc 1989;18(12):1348-51.
227. Miller LJ, Philbeck TE, Montez D, Spadaccini CJ. A new study of intraosseous blood for laboratory analysis. *Arch Pathol Lab Med.* sept 2010;134(9):1253-60.
228. Kamayni A, Goerig M. Resuscitation and Revival: The History of Intraosseous Injections and Infusions – Emergency Access to the Circulation. 2000.
229. Larsson T, Strandberg G, Eriksson M, Bondesson U, Lipcsey M, Larsson A. Intraosseous samples can be used for opioid measurements: an experimental study in the anaesthetized pig. *Scand J Clin Lab Invest.* mars 2013;73(2):102-6.
230. Montez DF, Puga TA, Garcia MR, Miller LJ, Davlantes C, Saussy JM, et al. Intraosseous Blood Correlates with Venous Blood in Healthy Subjects Using Point-of-Care Analyzers. *Ann Emerg Med.* oct 2013;62(4):S40.

231. Bellamy RF. The causes of death in conventional land warfare: implications for combat casualty care research. *Mil Med.* févr 1984;149(2):55-62.
232. Auten JD, Mclean JB, Kemp JD, Roszko PJ, Fortner GA, Krepela AL, et al. A Pilot Study of Four Intraosseous Blood Transfusion Strategies. *J Spec Oper Med Peer Rev J SOF Med Prof.* Fall 2018;18(3):50-6.
233. Sarkar D, Philbeck T. The use of multiple intraosseous catheters in combat casualty resuscitation. *Mil Med.* févr 2009;174(2):106-8.
234. Holcomb JB. Fluid resuscitation in modern combat casualty care: lessons learned from Somalia. *J Trauma.* mai 2003;54(5 Suppl):S46-51.
235. Nadler R, Gendler S, Chen J, Lending G, Abramovitch A, Glassberg E. The Israeli Defense Force Experience With Intraosseous Access. *Mil Med.* nov 2014;179(11):1254-7.
236. Szarpak L, Kurowski A, Adamczyk P, Czyzewski L, Truszewski Z, Zaśko P. Are junior doctors trained to use to use intraosseous access? *Am J Emerg Med.* janv 2016;34(1):107.
237. Haute Autorité de Santé. Avis N° 2016.0074/AC/SA3P du 30 novembre 2016 du collège de la HAS relatif au protocole de coopération « Pose de l'indication, mise en place, surveillance voire ablation d'une Perfusion Intra-Osseuse (PIO) par les infirmiers de sapeurs-pompiers du Service de Santé et de Secours Médical (SSSM) ». nov 30, 2016.
238. Degomme L. Pose de la voie intra-osseuse par les infirmiers : mythe ou réalité. 2019 juin; SMUR, Hôpital Lariboisière, Paris.
239. Infusion Nurses Society. The role of the registered nurse in the insertion of intraosseous access devices. *J Infus Nurs Off Publ Infus Nurses Soc.* août 2009;32(4):187-8.
240. Anderson TE, Arthur K, Kleinman M, Drawbaugh R, Eitel DR, Ogden CS, et al. Intraosseous infusion: success of a standardized regional training program for prehospital advanced life support providers. *Ann Emerg Med.* janv 1994;23(1):52-5.
241. Smereka J, Madziała M, Szarpak L. Are firefighters able to perform intraosseous access and start fluid resuscitation in an anaphylactic patient? *Am J Emerg Med.* août 2016;34(8):1707-8.
242. Isayama K, Nakatani T, Tsuda M, Hirakawa A. Current status of establishing a venous line in CPA patients by Emergency Life-Saving Technicians in the prehospital setting in Japan and a proposal for intraosseous infusion. *Int J Emerg Med.* 9 janv 2012;5(1):2.
243. Zhu ZH, Qu DB. Techniques of intraosseous infusion. *Zhonghua Hu Li Za Zhi.* 5 mai 1995;30(5):309-11.
244. Jabaud G, Plaisance V, Villeneuve V, Camus M. Bon usage des dispositifs médicaux : comment diffuser l'information ? *Pharm Hosp Clin.* mars 2016;51(1):73-4.
245. David J-S, Dubien P-Y, Capel O, Peguet O, Gueugniaud P-Y. Intraosseous infusion using the bone injection gun in the prehospital setting. *Resuscitation.* mars 2009;80(3):384-5.
246. Fowler R, Lippmann M. Benefits vs. Risks of Intraosseous Vascular Access. Patient Safety Network - Agency for Healthcare Research and Quality. 2014;
247. Wagner MB, McCabe JB. A comparison of four techniques to establish intraosseous infusion. *Pediatr Emerg Care.* juin 1988;4(2):87-91.
248. DeSoucy ES, Davidson AJ, Hoareau GL, Simon MA, Tibbits EM, Ferencz S-AE, et al. Pharmacokinetics of Tranexamic Acid via Intravenous, Intraosseous, and Intramuscular Routes in a Porcine (*Sus scrofa*) Hemorrhagic Shock Model. *J Spec Oper Med Peer Rev J SOF Med Prof.* 2019;19(4):80-4.

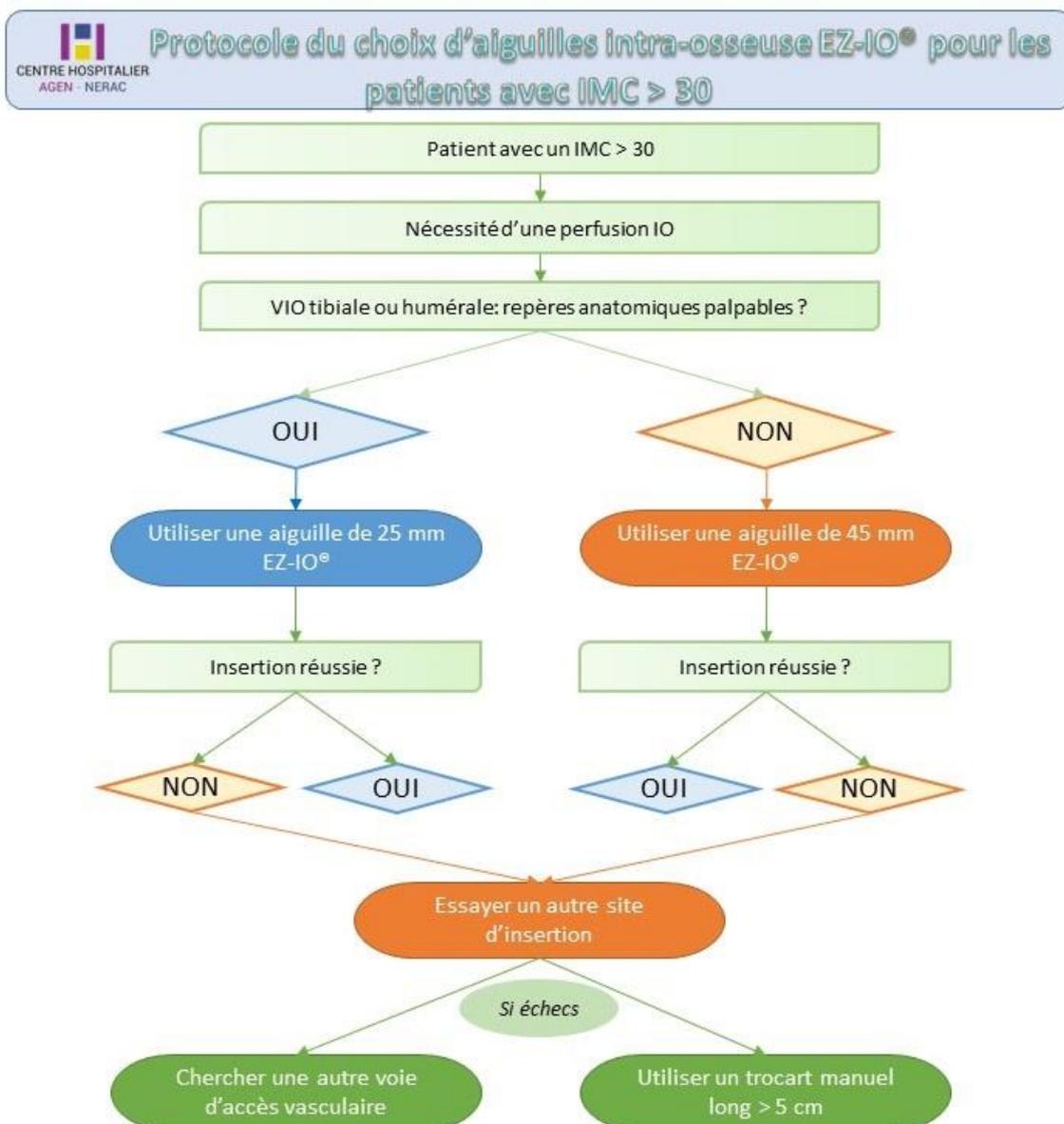
249. Spivey WH, Crespo SG, Fuhs LR, Schoffstall JM. Plasma catecholamine levels after intraosseous epinephrine administration in a cardiac arrest model. *Ann Emerg Med.* févr 1992;21(2):127-31.
250. Goodman IS, Lu CJ. Intraosseous infusion is unreliable for adenosine delivery in the treatment of supraventricular tachycardia. *Pediatr Emerg Care.* janv 2012;28(1):47-8.
251. Getschman SJ, Dietrich AM, Franklin WH, Allen HD. Intraosseous adenosine. As effective as peripheral or central venous administration? *Arch Pediatr Adolesc Med.* juin 1994;148(6):616-9.
252. Golenz MR, Wilson WD, Carlson GP, Craychee TJ, Mihalyi JE, Knox L. Effect of route of administration and age on the pharmacokinetics of amikacin administered by the intravenous and intraosseous routes to 3 and 5-day-old foals. *Equine Vet J.* sept 1994;26(5):367-73.
253. Ruiz-Hornillos PJ, Martínez-Cámara F, Elizondo M, Jiménez-Fraile JA, Del Mar Alonso-Sánchez M, Galán D, et al. Systemic fibrinolysis through intraosseous vascular access in ST-segment elevation myocardial infarction. *Ann Emerg Med.* juin 2011;57(6):572-4.
254. Paoli A, Boscolo A, Spagna A, Ori C. Efficacy and Safety of the Intraosseous Vascular Access in outof-Hospital Emergencies: A Prospective Study of the Pre-Hospital Emergency Service (SUEM 118) of Padua from 2012 to Today. *Int J Anesth Anesthesiol.* 2018;5(2):82.
255. McNamara RM, Spivey WH, Unger HD, Malone DR. Emergency applications of intraosseous infusion. *J Emerg Med.* janv 1987;5(2):97-101.
256. Katan BS, Olshaker JS, Dickerson SE. Intraosseous infusion of muscle relaxants. *Am J Emerg Med.* juill 1988;6(4):353-4.
257. Joseph G, Tobias JD. The use of intraosseous infusions in the operating room. *J Clin Anesth.* sept 2008;20(6):469-73.
258. Glaeser PW, Hellmich TR, Szewczuga D, Losek JD, Smith DS. Five-year experience in prehospital intraosseous infusions in children and adults. *Ann Emerg Med.* juill 1993;22(7):1119-24.
259. Prete MR, Hannan CJ, Burkle FM. Plasma atropine concentrations via intravenous, endotracheal, and intraosseous administration. *Am J Emerg Med.* mars 1987;5(2):101-4.
260. Paxton JH, Knuth TE, Klausner HA. Proximal humerus intraosseous infusion: a preferred emergency venous access. *J Trauma.* sept 2009;67(3):606-11.
261. Herman MI, Chyka PA, Butler AY, Rieger SE. Methylene blue by intraosseous infusion for methemoglobinemia. *Ann Emerg Med.* janv 1999;33(1):111-3.
262. Hosseinpour M, Khodaiari M. Appearance Time of Methylene Blue in the Aorta: Intra-osseous vs Peripheral Intravenous Route. *Trauma Mon.* 2012;17(1):239-41.
263. Pillar S. Re-emphasis on bone marrow as a medium for administration of fluid. *N Engl J Med.* 18 nov 1954;251(21):846-51.
264. Budsberg SC, Brown J. Distribution of clindamycin in cortical bone during direct local infusion of the canine tibia. *J Orthop Trauma.* oct 1994;8(5):383-9.
265. Akman N, Braunschweig T, Honickel M, Schütt K, Schöchl H, Stoppe C, et al. Reversal of dabigatran by intraosseous or intravenous idarucizumab in a porcine polytrauma model. *Br J Anaesth.* mai 2018;120(5):978-87.
266. Seigler RS. Intraosseous infusion performed in the prehospital setting: South Carolina's six-year experience. *J S C Med Assoc.* juin 1997;93(6):209-15.

267. Spivey WH, Unger HD, Lathers CM, McNamara RM. Intraosseous diazepam suppression of pentylenetetrazol-induced epileptogenic activity in pigs. *Ann Emerg Med.* févr 1987;16(2):156-9.
268. Brickman KR, Rega P, Guinness M. A comparative study of intraosseous versus peripheral intravenous infusion of diazepam and phenobarbital in dogs. *Ann Emerg Med.* oct 1987;16(10):1141-4.
269. Goldstein B, Doody D, Briggs S. Emergency intraosseous infusion in severely burned children. *Pediatr Emerg Care.* sept 1990;6(3):195-7.
270. Valdés M, Araujo P, de Andrés C, Sastre E, Martin T. Intraosseous administration of thrombolysis in out-of-hospital massive pulmonary thromboembolism. *Emerg Med J EMJ.* août 2010;27(8):641-4.
271. Wright JK, Christy RJ, Tharp RV, Kalns JE. Evaluation of intraosseous delivery of factor VIIa during hemorrhagic shock in the pig. *Mil Med.* févr 2009;174(2):119-23.
272. Helm M, Breschinski W, Lampl L, Frey W, Bock KH. Intraosseous puncture in preclinical emergency medicine. Experiences of an air rescue service. *Anaesthetist.* déc 1996;45(12):1196-202.
273. Johnson L, Kissoon N, Fiallos M, Abdelmoneim T, Murphy S. Use of intraosseous blood to assess blood chemistries and hemoglobin during cardiopulmonary resuscitation with drug infusions. *Crit Care Med.* juin 1999;27(6):1147-52.
274. Bebarta VS, Pitotti RL, Boudreau S, Tanen DA. Intraosseous versus intravenous infusion of hydroxocobalamin for the treatment of acute severe cyanide toxicity in a Swine model. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med.* nov 2014;21(11):1203-11.
275. Borron SW, Arias JC, Bauer CR, Sanchez M, Fernández M, Jung I. Hemodynamics after intraosseous administration of hydroxocobalamin or normal saline in a goat model. *Am J Emerg Med.* nov 2009;27(9):1065-71.
276. Simmons CM, Johnson NE, Perkin RM, van Stralen D. Intraosseous extravasation complication reports. *Ann Emerg Med.* févr 1994;23(2):363-6.
277. Guy J, Haley K, Zuspan SJ. Use of intraosseous infusion in the pediatric trauma patient. *J Pediatr Surg.* févr 1993;28(2):158-61.
278. Brickman K, Rega P, Choo M, Guinness M. Comparison of serum phenobarbital levels after single versus multiple attempts at intraosseous infusion. *Ann Emerg Med.* janv 1990;19(1):31-3.
279. Walsh-Kelly CM, Berens RJ, Glaeser PW, Losek JD. Intraosseous infusion of phenytoin. *Am J Emerg Med.* nov 1986;4(6):523-4.
280. Uwaydah NI, Hoskins SL, Bruttig SP, Farrar H, Copper NC, Deyo DJ, et al. Intramuscular versus Intraosseous Delivery of Nerve Agent Antidote Pralidoxime Chloride in Swine. *Prehospital Emerg Care Off J Natl Assoc EMS Physicians Natl Assoc State EMS Dir.* août 2016;20(4):485-92.
281. Murray DB, Eddleston M, Thomas S, Jefferson RD, Thompson A, Dunn M, et al. Rapid and complete bioavailability of antidotes for organophosphorus nerve agent and cyanide poisoning in minipigs after intraosseous administration. *Ann Emerg Med.* oct 2012;60(4):424-30.
282. Bennett RA, Schumacher J, Hedjazi-Haring K, Newell SM. Cardiopulmonary and anesthetic effects of propofol administered intraosseously to green iguanas. *J Am Vet Med Assoc.* 1 janv 1998;212(1):93-8.
283. Mazaheri-Khameneh R, Sarrafzadeh-Rezaei F, Asri-Rezaei S, Dalir-Naghadeh B. Comparison of time to loss of consciousness and maintenance of anesthesia following intraosseous and intravenous administration of propofol in rabbits. *J Am Vet Med Assoc.* 1 juill 2012;241(1):73-80.

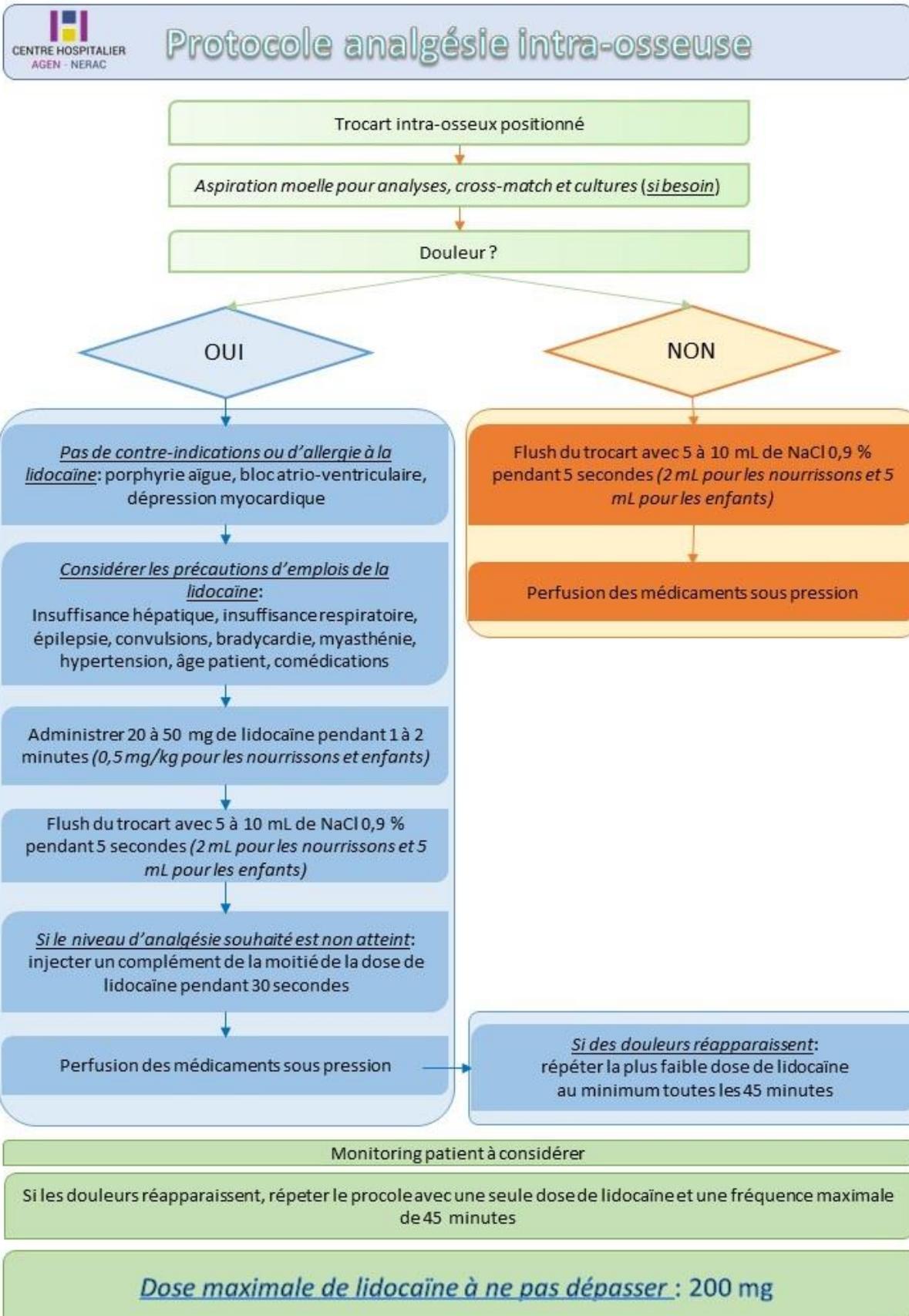
284. Brickman KR, Rega P, Koltz M, Guinness M. Analysis of growth plate abnormalities following intraosseous infusion through the proximal tibial epiphysis in pigs. *Ann Emerg Med.* févr 1988;17(2):121-3.
285. Bielski RJ, Bassett GS, Fideler B, Tolo VT. Intraosseous infusions: effects on the immature physis--an experimental model in rabbits. *J Pediatr Orthop.* août 1993;13(4):511-5.
286. Evans RJ, McCabe M, Thomas R. Intraosseous infusion. *Br J Hosp Med.* 16 mars 1994;51(4):161-4.
287. Reisman HA. The bone marrow as an alternate route for transfusion in pediatrics. *Arch Pediatr Adolesc Med.* 1 oct 1944;68(4):253.
288. Medina FA. Rapid sequence induction/intubation using intraosseous infusion of vecuronium bromide in children. *Am J Emerg Med.* juill 1992;10(4):359-60.

ANNEXES

Annexe n°1 : Protocole du choix d'aiguilles intra-osseuse EZ-IO® pour les patients avec un IMC > 30



Annexe n°2 : Protocole d'analgésie intra-osseuse



Annexe n°3 : Liste des médicaments étudiés par voie intra-osseuse dans la littérature

Médicaments	Preuves d'efficacités	Données bibliographiques
Acide Tranexamique	Animaux (porc)	(128,248)
Adénosine	Homme, Animaux (porc)	(128,249–251)
Albumine	Homme	(21,123,128)
Alfentanil	Homme	(128)
Altéplase	Homme	(128)
Amikacine	Homme	(252)
Aminophylline	Homme	(128)
Amiodarone	Homme	(128,253,254)
Ampicilline	Homme, Animaux (porc)	(128,255)
Anascorp (antivenin de scorpion)	Homme	(128)
Atracurium besylate	Homme	(128,256)
Atropine	Homme, Animaux (chiens, cochons, macaques)	(128,186,254,257–260)
Aztréonam	Homme	(128)
Bleu de Méthylène	Homme, Animaux (lapins)	(261,262)
Bretylum	Homme	(258)
Bupivacaïne	Homme	(7)
Calcium (chlorure)	Homme, Animaux (chiens, porc)	(128,145,186,195,258,260)
Calcium (gluconate)	Homme	(128,200)
Céfazoline	Homme	(128)
Céfepime	Homme	(128)
Céfotaxime	Modèle animal	
Ceftriaxone	Homme	(128)
Cisatracurium	Homme	(260)
Chloramphénicol	Modèle animal	
Chlortétracycline	Homme	(263)
Clindamycine	Animaux (chiens)	(264)
Dabigatran	Animaux (porc)	(265)
Dexaméthasone	Homme	(128,260)
Dextran	Homme	(128,263)
Dextrose 10 %, 25 %, 50 %	Homme, Animaux (chiens, porc)	(14,123,128,186,195,249,258)
Diazépam	Homme, Animaux (chiens, porc)	(128,255,266–268)
Diazoxide	Homme	(128)
Digoxine	Homme	(128,263)
Dialtiazem	Homme	(128)
Diphenhydramine	Homme	(128)
Dobutamine	Homme, Animaux (porc)	(7,14,128,192,269)
Dopamine	Homme, Animaux (cochons)	(7,14,128,138,175,269)
Ephédrine	Homme	(6,128)
Epinéphrine (= Adrénaline)	Homme, Animaux (cochons)	(137,192,195,209,258,270)
Esmolol	Homme	(128)
Ethanol	Homme	(89)
Étiléfrine	Homme	(254)
Etomidate	Homme	(260)
Facteur VII	Animaux (cochons)	(271)
Fentanyl	Homme	(14,128,270,272)
Fluconazole	Homme	(128)
Flumazenil	Homme	(128,254)
Fosphénytoïne	Homme	(128)

Médicaments	Preuves d'efficacités	Données bibliographiques
Furosémide	Homme	(128,254)
Gentamicine	Homme	(128)
Glucose Hypertonique	Homme	(200)
Halopéridol	Homme	(128,260)
Héparine	Homme, Animaux (cochons)	(128,151,253,273)
Hydroxocobalamine	Homme, Animaux (chèvres, porcs)	(128,274,275)
Hydromorphone	Homme	(128)
Hydroxocobalamine	Homme	(128)
Idarucizumab	Animaux (porc)	(265)
Insuline	Homme	(128,145,151)
Isoprenaline	Homme	(128,194)
Isoproterenol		
Kétamine	Homme	(128,272)
Labétolol	Homme	(128,260)
Levetiracétam	Homme	(128)
Lidocaïne	Homme	(14,128,137,178,258)
Linézolide	Homme	(128)
Lorazépam	Homme	(128,260)
Magnésium (sulfate)	Homme	(128,260)
Mannitol	Homme	(128)
Méthylprednisolone	Homme	(128,276)
Métoprolol	Homme	(128)
Midazolam	Homme	(128)
Mivacurium	Homme	(128)
Morphine (sulfate)	Homme	(128,145,205,256,277)
Nalbuphine	Homme	(128)
Naloxone	Homme, Animaux (cochons)	(14,128,175,229,258,260)
Néostigmine	Homme	(128)
Nitroglycérine	Homme	(128)
Nitroprusside	Homme	(128)
Noradrénaline	Homme	(14,128,192)
Ondansétron	Homme	(128)
Pancuronium	Homme	(128,198)
Paracétamol	Homme	(128)
Pentobarbital	Animaux (cochons)	(138)
Phénobarbital	Homme, Animaux (chiens)	(128,268,278)
Phentolamine	Homme	(158)
Phényléphrine	Homme	(128)
Phénytoïne	Homme	(128,175,277,279)
Pipéracilline	Homme	(128,147)
Potassium (chlorure)	Homme	(128,260)
Pralidoxime	Animaux (cochons, porcs)	(280,281)
Prométhazine	Homme	(128)
Propofol	Homme, Animaux (iguanes, lapins)	(128,257,282,283)
Propranolol	Homme	(128)
Rémifentanyl	Homme	(128)
Ringer lactate (solution)	Homme	(254,269,279)
Rocuronium	Homme	(14,128)
Sérum antitétanique	Homme	(200)
Sodium (chlorure)	Homme	(128)
Sodium (bicarbonate)	Homme, Animaux (chiens, lapins, porcs)	(128,137,186,192,195,200,258,263,284,285)
Sodium (sulfate)	Homme	(200)
Solumédrol	Homme	(260)

Médicaments	Preuves d'efficacités	Données bibliographiques
Succinylcholine	Homme	(14,128,145,197,277)
Sulfadiazine	Homme	(263)
Suxaméthonium	Homme	(286)
Ténectéplase	Homme	(128,253,270)
Thiamine	Homme	(128)
Thiopental sodique	Homme	(128,287)
Tobramycine	Homme	(128)
Vancomycine	Homme	(128)
Vasopressine	Homme	(14,128)
Vécuronium (bromure)	Homme	(14,128,145,270,277,288)
Vitamines B, C et K	Homme	(57,128,263)

Annexe n°4 : Liste du matériel de réanimation SMUR selon l'arrêté du 10 février 2009(212)

<u>Équipement nécessaire dans chaque Smur - pour chaque UMH</u> (ou au moins une unité par base Smur si tel est spécifié dans le texte)	
Réanimation respiratoire	
Respirateur de transport permettant les modes de VNI	E
Système alternatif à l'intubation dans chaque véhicule opérationnel	E
Manomètre pour le monitoring de la pression du ballonnet de la sonde d'intubation	E
Appareil de mesure du monoxyde de carbone expiré ou Saturomètre HbCO	E
Monitoring de l'oxymétrie pulsée	E
Détecteurs de monoxyde de carbone atmosphérique	E
Réanimation cardio-vasculaire	
Monitoring Scope / ECG, PNI	E
Pousse seringue électrique (au moins trois)	E
Pousse seringue électrique (au moins quatre)	S
Dispositif de cathétérisme intra- osseux adulte et pédiatrique	E
Dispositif permettant le monitoring de la pression artérielle invasive et de la pression intra crânienne	S
Dispositif permettant le monitoring de la pression artérielle invasive et de la pression intra crânienne (au moins une unité par base Smur)	E
Dispositif permettant le monitoring du CO2 expiré en continue avec représentation graphique	E
Aimant pour contrôle des dispositifs implantés	E
Planche à masser automatisée	S
Dispositif d'assistance circulatoire transportable	O

Annexe n°5 : Questionnaire médical VIO

Questionnaire Voie Intra-osseuse Médecins et Internes - Urgentistes, Gériatres et Pédiatres

Ce questionnaire s'adresse aux médecins urgentistes, gériatres, pédiatres et aux internes exerçant en CHU, CH et SDIS sur les régions Nouvelle-Aquitaine et Occitanie. Ce questionnaire permettra d'évaluer la prise en charge régionale des patients pour lesquels une voie intra-osseuse a été posée dans le cadre d'une thèse de DES.

*Obligatoire

Adresse e-mail *

Votre adresse e-mail _____

Dans quelle ville et dans quel centre hospitalier exercez-vous vos fonctions ? *

Votre réponse _____

Vous êtes: *

- Urgentiste/réanimateur
- Pédiatre
- Pédiatre spécialisé Urgentiste
- Pédiatre spécialisé Réanimateur
- Généraliste
- Gériatre
- Interne
- Autre : _____

Avez-vous déjà posé une voie intra-osseuse dans un centre hospitalier (ou en intervention SAMU/SMUR/SDIS) ? *

- OUI
- NON

Si OUI à la question précédente, ou ce geste a-t-il été réalisé ? *

- Aux Urgences
- En Réanimation
- Intervention SAMU/SMUR
- En Pédiatrie
- En Gériatrie
- En salle de Simulation en Santé
- Autre : _____

Quel type de matériel avez-vous utilisé pour ce geste ?



- DM avec insertion manuelle (type aiguilles Dieckmann Cook, de Mallarmé, Jamshidi, trocart de Kendall, EZ-IO manuel)



- DM avec percussion (type BIG, NIO ou FAST)

Autre : _____



- DM motorisé (EZ-IO)

Sur quel(s) site(s) avez-vous déjà effectué une pose de voie intra-osseuse ?

- Tibial proximal
- Tibial distal
- Huméral
- Fémur distal
- Sternal
- Épine iliaque supéro-antérieure
- Autre : _____

Avez-vous eu des échecs de pose de voie intra-osseuse ? Si OUI, avec quels types de matériels ?

- NON, je n'ai jamais eu d'échecs de pose
- OUI avec insertion manuelle (type aiguilles Dieckmann Cook, de Mallarmé, Jamshidi, trocart de Kendall, EZ-IO manuel)
- OUI avec percussion (type BIG, NIO ou FAST)
- OUI en motorisé (EZ-IO)
- Autre : _____

Quelle est votre expérience de poses de voie intra-osseuse (nombre approximatif de poses) ?

- Je n'ai jamais exécuté ce geste
- J'ai exécuté ce geste uniquement sur des mannequins / dispositifs de simulation en santé
- 1 à 5 patients
- 5 à 10 patients
- 10 à 50 patients
- Plus de 50 patients
- Autre : _____

Si OUI à la question précédente, quels dispositifs souhaiteriez-vous ?



A insertion manuelle (type aiguilles Dieckmann Cook, de Mallarmé, Jamshidi, trocart de Kendall, EZ-IO manuel)



A percussion (type BIG, NIO ou FAST)



Motorisé (EZ-IO)

Autre : _____

Avez-vous déjà diagnostiqué des complications à la suite d'une tentative et/ou d'une mise en place d'une voie intra-osseuse ?

- Aucune
- Diffusion sous-cutanée
- Fracture
- Infection in situ
- Hématome
- Abscès intra-osseux
- Déperfusion
- Syndrome des loges
- Ostéomyélite
- Nécrose cutanée
- Autre : _____

Avez-vous suivi une formation spécifique pour pratiquer ce geste ? *

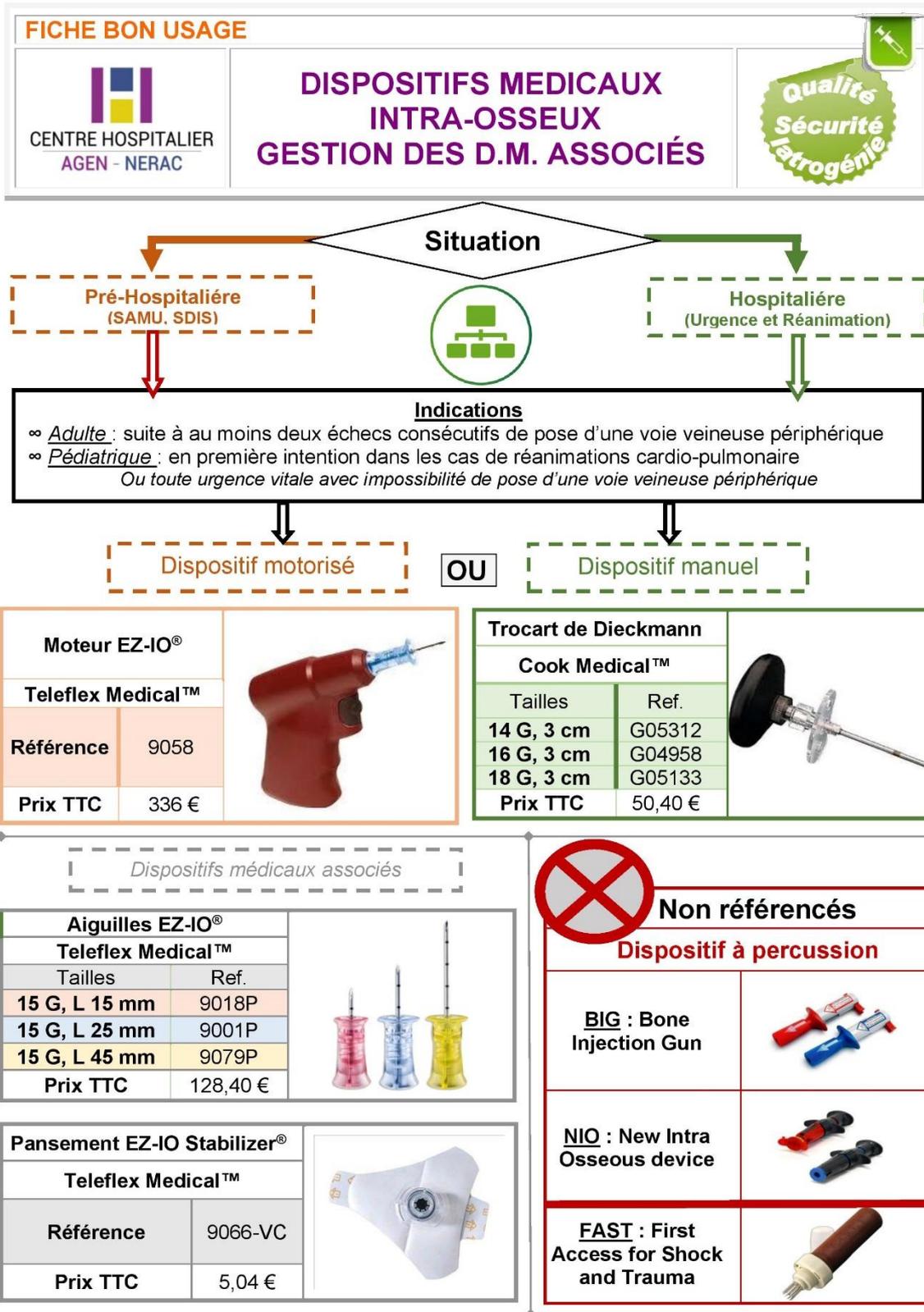
- OUI, formation pendant mon internat
- OUI, formation extra-hospitalière
- OUI, formation par un laboratoire médical
- NON
- Autre : _____

Pensez-vous que la mise à disposition d'un kit intra-osseux prêt à l'emploi dans votre service serait bénéfique à votre pratique actuelle ? *

- OUI
- NON
- SERVICE DÉJÀ EQUIPE D'UN KIT
- NE SE PRONONCE PAS

Seriez-vous favorable à l'incorporation d'un kit intra-osseux prêt à l'emploi dans la réserve destinée au PLAN BLANC ? *

- OUI
- NON
- KIT DÉJÀ PRÉSENT DANS LE PLAN BLANC
- NE SE PRONONCE PAS





Comment promouvoir le développement de la pharmacie clinique appliquée aux dispositifs médicaux ?

Dupuy J.⁽¹⁾, Guillaudin C.⁽¹⁾, Burguière M.⁽¹⁾, Rouge N.⁽²⁾, Rouy J-C.⁽¹⁾, Leymond S.⁽¹⁾, Painbenti T.⁽¹⁾, Gorce T.⁽¹⁾
⁽¹⁾ Pharmacie, CH Agén Saint-Esprit, Agén ⁽²⁾ Pharmacie, CH Nérac, Nérac



Contexte

- Création d'une équipe mobile dédiée aux dispositifs médicaux (EM2DM)
- 53 services hospitaliers
- 2 ETP: 1 pharmacien
- 1 interne en pharmacie
- 762 lits

Matériel & Méthodes

- Equipe mobilisable à la demande
- Audit et évaluation des pratiques professionnelles
- Formations « Speed Learning »
- Bilan mensuel de thématiques DM

Conclusion

- Activité chronophage mais rentable !
- 4900 € *d'économies directes en 4 mois*
- Amélioration du juste usage et optimisation de la prise en charge des DM pour les patients
- Meilleure communication intra hospitalière
- Acceptation facilitée des changements de marchés

Objectifs

- Définir les missions, moyens et méthodes de déploiement de l'EM2DM

Résultats

Temps d'activité EM2DM dans les services: **20h/semaine**

- Création d'outils de communication:**
 - Livret de bonnes pratiques de perfusion
 - Juste usage des pansements, des sutures et des dispositifs médicaux intra-osseux
 - Actualisation du matériel de drainage thoracique
 - Infographie de l'audit du circuit des DMI
 - Revue de stérilisation du matériel de biberonnerie
- Formation de l'EM2DM aux techniques opératoires par les chirurgiens du bloc
- Formations aux nouveaux DM et accompagnement
- Réorganisation circuit interne et dotations DM
- Matériorvigilance et retours d'expériences
- Audit du circuit des DMI (outil OMEDI[®] et patient traceur)
- Consultations pharmaceutiques en diabétologie « Plaies et cicatrisation » Bon usage des pansements

Annexe n°8 : Questionnaire de formation sur la voie intra-osseuse

Questionnaire “Voie Intra-Osseuse”

- 1) A propos de la voie intra-osseuse humérale:
 - L'insertion est très douloureuse
 - C'est un site d'accès privilégié pour l'administration médicamenteuse d'urgence
 - Les repères anatomiques sont facilement visualisables chez les patients obèses
 - La débit de perfusion est comparable à celui de la voie sous-clavière
- 2) Les sites d'insertions suivants sont privilégiés chez les enfants:
 - Fémur distal
 - Sternum
 - Tête humérale
 - Titia proximal
- 3) Les contres-indications à un accès intra-osseux sont les suivants:
 - Sepsis généralisé
 - Infection locale sur le point d'insertion
 - Brûlures étendues en regard du site d'insertion
 - Fracture en proximal du site d'insertion
- 4) Citer les complications intra-osseuses possibles:
 - Extravasation
 - Fracture
 - Osteoporose
 - Ostéomyélite

Réponses

- 1) A propos de la voie intra-osseuse humérale:
 - L'insertion est très douloureuse => **FAUX**
 - C'est un site d'accès privilégié pour l'administration médicamenteuse d'urgence => **VRAI**
 - Les repères anatomiques sont facilement visualisables chez les patients obèses => **FAUX**
 - La débit de perfusion est comparable à celui de la voie sous-clavière => **VRAI**
- 2) Les sites d'insertions suivants sont privilégiés chez les enfants:
 - Fémur distal => **VRAI**
 - Sternum => **FAUX**
 - Tête humérale => **FAUX**
 - Titia proximal => **VRAI**
- 3) Les contres-indications à un accès intra-osseux sont les suivants:
 - Sepsis généralisé => **FAUX**
 - Infection locale sur le point d'insertion => **VRAI**
 - Brûlures étendues en regard du site d'insertion => **FAUX**
 - Fracture en proximal du site d'insertion => **VRAI**
- 4) Citer les complications intra-osseuses possibles:
 - Extravasation => **VRAI**
 - Fracture => **VRAI**
 - Osteoporose => **FAUX**
 - Ostéomyélite => **VRAI**

Optimum artium pharmacia nobilissima est

AUTOR : Mr. Julien DUPUY

TITLE : INTRAOSSEOUS ACCESS : CLINICAL APPROCH OF ASSOCIATED MEDICAL DEVICES

THESIS SUPERVISOR : Dr Christian GUILLAUDIN

DATE AND PLACE OF THESIS DEFENCE : 2020/09/24 - Faculty of Pharmacy of Toulouse

ENGLISH ABSTRACT

Introduction : Intraosseous (IO) infusion provides vascular access when other intravenous methods cannot be performed in a hospital and pre-hospital setting. Fast acting medications are essential to treat life-threatening events and increase patient survival rates.

Objectives : Assess and improve the use of IO access in France.

Methods : Medical and pharmaceutical interregional investigations have been carried out to review the use of intraosseous access.

Results : IO medical devices are available but under-used in french hospitals. Physicians and nurses are not sufficiently aware regarding IO access during medical training.

Conclusion : Pharmacists could enhance appropriate use of IO medical devices by leading clinical pharmacy surveys to improve and support IO applications. New medical approaches and tools for improvement were suggested.

ADMINISTRATIVE DISCIPLINE : Pharm.D - Hospital Pharmacy

KEYWORDS : Medical devices, First aids, Bones and bone tissue

DEPARTMENT ADDRESS: Faculté de Pharmacie – Université Paul Sabatier
35 Chemin des Maraîchers
31062 TOULOUSE Cedex
FRANCE

AUTEUR : Mr Julien DUPUY

TITRE : LA VOIE INTRA-OSSEUSE : APPROCHE PHARMACO-CLINIQUE DES DISPOSITIFS MÉDICAUX ASSOCIÉS

DIRECTEUR DE THÈSE : Dr Christian GUILLAUDIN

LIEU ET DATE DE SOUTENANCE : Le 24 Septembre 2020 - Faculté de Pharmacie de Toulouse

RESUMÉ EN FRANÇAIS

Introduction : La voie intra-osseuse (IO) est un site d'accès vasculaire utilisé lors d'un contexte d'urgence vitale quand les autres voies d'accès vasculaires ne peuvent pas être envisagées ou que leurs utilisations soient en défaveur du bénéficiaire patient.

Objectifs : Evaluer l'utilisation de l'accès intra-osseux en France et proposer des outils d'améliorations en lien avec les dispositifs médicaux (DM) utilisés.

Méthodes : Deux enquêtes interrégionales ont été menées auprès de médecins et de pharmacies à usage intérieur du Sud-Ouest français.

Résultats : Bien que les DM IO soient relativement répandus et disponibles dans les hôpitaux français, ils ne sont que peu utilisés et le personnel médical y est peu sensibilisé pendant leurs études. La mise à disposition par la pharmacie hospitalière de nouveaux outils et moyens cliniques pourrait permettre une évolution et une sensibilisation aux pratiques cliniques IO.

Conclusion : Le pharmacien hospitalier peut contribuer à son niveau au juste usage des dispositifs médicaux intra-osseux afin de permettre une prise en charge optimale et personnalisée du patient selon sa clinique et sa pathologie.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Diplôme d'Études Spécialisées en Pharmacie Hospitalière

MOTS-CLÉS : Dispositif médical, Soins de première urgence, Tissu osseux

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR : Faculté de Pharmacie – Université Paul Sabatier
35 Chemin des Maraîchers
31062 TOULOUSE Cedex