Article original

Biocapteurs en contexte opérationnel
Retour d'expérience de l'exercice ORION

J. BORDES[(1)], Q. MATHAIS[(2)], P. RAKOTONDRAMASY[(3)], M. CARDINALE[(4)], S. BOUSSEN[(5)]

(1,2,4,5) Hôpital National d'Instruction des Armées Sainte-Anne, Service d'Anesthésie et Médecine Périopératoire, Fédération d'Anesthésie-Réanimation, Toulon
(1,4) Académie de Santé des Armées, École du Val-de-Grâce, Paris
(3) Commandement de la force et des opérations terrestres, Lille
(5) Laboratoire de biomécanique appliquée, Aix-Marseille Université, Marseille

Auteur correspondant : bordes.julien@neuf.fr

Open access DOI
10.17184/eac.9417

Reçu
le 12 décembre 2024

Accepté
le 25 avril 2025

Publié
le 11 juin 2025

Conflit d'intérêt
Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt.

Résumé :
Le spectre des conflits dits de haute intensité fait envisager la gestion de flux de plus de 100 blessés de guerre par jour. Dans ce contexte, les capacités à identifier d'emblée les patients les plus graves et à identifier dans un second temps ceux qui vont se dégrader sont essentielles pour un triage efficient. L'utilisation de biocapteurs en permettant un recueil automatisé des paramètres vitaux pourrait optimiser la prise en charge des blessés. Ainsi, des biocapteurs ont été testés en conditions de combats terrestres et navals simulés. Trois types de biocapteurs différents ont pu être testés au cours de deux exercices d'afflux massif de blessés. Les paramètres physiologiques mesurés par les biocapteurs étaient : la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, la température, la SpO2 et la position. Durant les exercices, les 15 capteurs testés ont pu enregistrer des paramètres physiologiques sauf un. Le volume de données recueilli sur la durée de l'exercice était important, dépassant 500 000 valeurs de position pour les enregistrements durant plus de 300 minutes. La fiabilité des données évaluées par la proportion de valeurs aberrantes parmi l'ensemble des valeurs enregistrées était variable en fonction des capteurs. Ainsi, les biocapteurs ont le potentiel technologique pour assurer le recueil automatisé des paramètres physiologiques des blessés de guerre, et par conséquent pour optimiser la chaîne santé en situation de haute intensité. Néanmoins, des questions restent à résoudre : site préférentiel de pose du biocapteur ; fiabilité de la donnée transmise ; transmission de la donnée en temps réel le long de la chaîne santé et intégration dans un système d'alerte précoce.

Mots-clés : Biocapteurs. Blessé de guerre. Score d'alerte. Soins tactiques. Médecine d'armée.

Abstract:
BIOSENSORS IN MILITARY SETTINGS: FEEDBACK ON ORION MASSIVE CASUALTIES MANAGEMENT EXERCISE
With looming high intensity conflicts, managing the flow of more than 100 war wounded a day is a challenge that must be addressed . In this context, efficient triage is essential e.g., the process of sorting patients to determine medical need and the priority of care. Biosensors allowing automated collection of vital parameters should be considered as an innovative tool to optimize such a process and the treatment of injuries.
Biosensors were tested in simulated combat conditions. Three different types of biosensors were tested during two massive casualties management exercises. The physiological parameters measured by the biosensors included heart rate, respiratory rate, temperature, SpO2, position.
During exercises, all 15 sensors tested, recorded every physiological parameter except for one. The amount of data collected over the duration of the exercises was significant, comprising more than 500,000 position values that were recorded over a time period exceeding 300 minutes. The reliability of data assessed by the proportion of outliers among all recorded values varied depending on the sensors. Thus, biosensors have the technological potential to ensure automated collection of physiological parameters of warwounded, which optimizes the health chain in high-intensity situations. Nevertheless, questions remain to be resolved: optimal location of the biosensor, reliability of the data transmitted, transmission of data in real time along the health chain, and integration into an early warning system.

Keywords: Biosensors. War wounded. Early warning score. Tactical care. Military medicine.

Introduction

Le spectre des conflits dits de haute intensité fait envisager la gestion de flux de plus de 100 blessés de guerre par jour (1). Dans ce contexte, les capacités à identifier d'emblée les patients les plus graves et à identifier dans un second temps ceux qui vont se dégrader sont essentielles pour un triage efficient.
Une solution technique envisageable pour aider les services de santé dans des contextes de crise est l'utilisation de biocapteurs permettant un recueil automatisé des paramètres vitaux. Couplés à des scores de gravité, ils pourraient être utilisés comme de véritable « système d'alerte précoce » et d'aide au triage, facilitant ainsi la gestion des flux de blessés en automatisant la détection de la gravité dès la blessure, et durant toute la prise en charge aux différents échelons (2–4). Actuellement, les cas d'utilisation de ces biocapteurs en contexte civil sont la surveillance de patients isolés ou à domicile, en dehors des murs des structures hospitalières, mais également à l'hôpital dans les services d'hospitalisation conventionnels (5).

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

L'exercice ORION organisé par l'Armée française en 2023 a été l'opportunité d'exercices d'afflux massif impliquant les équipes de *Role 1* et de *Role 2* du Service de santé des armées (6). C'est dans ce contexte que des biocapteurs ont pu être évalués en condition de combats de haute intensité simulés. Après une brève revue des biocapteurs actuellement disponibles, nous décrirons le retour d'expérience de leur utilisation au cours de l'exercice ORION.

1 Biocapteurs : définition et caractéristiques

1.1 Définition et intérêt

Un biocapteur de santé externe est un dispositif non invasif conçu pour mesurer en temps réel des paramètres physiologiques grâce à des capteurs optoélectroniques ou électriques placés à la surface de la peau (7). Contrairement aux biocapteurs implantés ou à ceux intégrant des récepteurs biologiques complexes, ces dispositifs reposent sur des technologies telles que les diodes optiques, utilisées pour analyser la saturation en oxygène (SpO2) ou le débit sanguin, et les capteurs électriques transdermiques, qui mesurent des signaux comme l'activité cardiaque ou la fréquence respiratoire (8).
Ces biocapteurs sont principalement employés pour le suivi médical (7). Leur miniaturisation ainsi que leur capacité à communiquer sans fil en font des outils potentiellement intéressants pour le monitorage des patients en contexte d'urgence, de mobilité, et d'afflux (5). Leur simplicité d'utilisation et leur portabilité les rendent particulièrement adaptés à des environnements opérationnels, comme les zones de conflit (2). Permettant un enregistrement continu des paramètres physiologiques, ils offrent l'opportunité de recueillir et d'analyser un grand volume de données. Ils peuvent être ainsi associés à des modèles prédictifs d'intelligence artificielle pour identifier précocement des risques de survenue de complications (9).

1.2 Mode de fonctionnement

De nombreux types de biocapteurs sont disponibles reposant sur des technologies différentes, adaptées à la mesure non invasive de paramètres physiologiques *via* la peau (8). Ces technologies incluent principalement :

- la photopléthysmographie (PPG) : basée sur l'utilisation de diodes lumineuses et de photodétecteurs, cette technologie mesure les variations de volume sanguin dans les tissus. Elle est utilisée pour surveiller des paramètres comme la fréquence cardiaque (FC), la saturation en oxygène (SpO2) et la fréquence respiratoire (FR). Ses limites sont liées à la sensibilité aux mouvements et à la lumière ambiante.
- les capteurs électrocardiographiques (ECG) : ces capteurs mesurent l'activité électrique du cœur en enregistrant les signaux électriques à travers la peau.
  Ils sont utilisés pour surveiller la fréquence et le rythme cardiaque. D'une grande précision pour l'analyse cardiaque, ils nécessitent un bon contact avec la peau, et sont sensibles aux artefacts liés au mouvement.
- les capteurs de température cutanée (T°) : ils utilisent des thermistances ou des capteurs infrarouges pour mesurer la température corporelle à travers la peau. Si la mesure est rapide et continue, elle peut être influencée par l'environnement externe.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*,
Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

- les capteurs d'activité électrodermale (EDA) : ils mesurent les changements dans la conductance de la peau, liés à l'activité des glandes sudoripares, souvent utilisés pour évaluer le stress ou la douleur. Ils permettent une surveillance indirecte des réponses autonomes, mais sont sensibles aux variations d'humidité.
- les capteurs basés sur l'impédancemétrie thoracique : ils évaluent les variations d'impédance électrique dans la région thoracique pour mesurer la fréquence respiratoire et la ventilation, mais nécessitent un positionnement précis et stable.
- accéléromètres et gyroscopes : utilisés pour détecter les mouvements et les changements de position, ces capteurs permettent de surveiller l'activité physique et les postures. Polyvalents et peu coûteux, leur interprétation est parfois complexe dans des environnements mobiles.

1.3 Biocapteurs : caractéristiques actuelles et perspectives

Dans les biocapteurs actuellement commercialisés, ces technologies sont souvent combinées pour créer des dispositifs multifonctionnels capables de surveiller simultanément plusieurs paramètres physiologiques. Ils ont ainsi le potentiel pour offrir une vue d'ensemble de l'état de santé d'un patient dans des contextes variés (5).

Néanmoins, les biocapteurs connaissent une évolution rapide, et peuvent intégrer désormais des technologies avancées pour mesurer des biomarqueurs tels que le lactate, l'hémoglobine, la glycémie, le sodium et le chlore. Par exemple, le système StatStrip® de Nova Biomedical® permet une mesure précise du lactate et de l'hémoglobine/hématocrite à partir de minuscules échantillons de sang capillaire, offrant des résultats en quelques secondes (10). De plus, des recherches récentes explorent des biocapteurs hyperfréquences résonants pour l'analyse non invasive de liquides biologiques, ouvrant la voie à des dispositifs capables de détecter simultanément plusieurs analyses sans prélèvement sanguin (11).

Les défis principaux résident dans la précision des mesures, notamment en condition de mobilité, et l'intégration des données en temps réel, pour en faire des outils fiables dans les contextes où des décisions rapides sont nécessaires. Une étude comparant la mesure de la fréquence cardiaque et de la fréquence respiratoire réalisée par biocapteurs et par monitorage standard retrouvait une corrélation acceptable entre les deux techniques de mesures, à l'exception de la mesure de la fréquence respiratoire pour l'un des biocapteurs testés dont les résultats étaient considérés en dehors des limites acceptables (12).

Ces avancées promettent une nouvelle génération de biocapteurs plus performants, offrant une surveillance continue et précise des paramètres physiologiques, améliorant ainsi la gestion des patients dans divers contextes médicaux.

2 Méthode d'étude des biocapteurs pendant ORION

2.1 Lieu et période de l'étude

L'étude s'est déroulée lors de la phase 2 de l'exercice ORION en mars 2023, avec une phase de combat terrestre (site de Sète) et une phase de combat naval (Méditerranée). Les scénarii des deux phases étaient ceux d'afflux massif de blessés ; prise en charge de 25 blessés lors d'une attaque par drone d'une emprise militaire pour la phase à

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

terre (8 mars 2023), prise en charge de 30 blessés lors d'une attaque de frégate avec noria de blessés par hélicoptère entre la frégate et un porte-hélicoptère amphibie pour la phase en mer (5 mars 2023).
Dans les deux exercices, la prise en charge des blessés était simulée de l'avant jusqu'à l'arrivée au *Role 2*, permettant d'évaluer les biocapteurs dans un contexte de mobilité (dont une séquence de transport héliporté au cours de l'exercice naval).

2.2 Objectif principal

L'objectif principal de l'étude était l'évaluation de la capacité des biocapteurs à recueillir des paramètres vitaux dans un contexte d'afflux massif de blessés. Celle-ci était évaluée par le nombre de valeurs recueillies pour chaque paramètre vital.

2.3 Objectif secondaire

L'objectif secondaire de l'étude était de comparer les performances des biocapteurs. Celle-ci était évaluée par la proportion de valeurs aberrantes parmi les valeurs des paramètres recueillis.

2.4 Biocapteurs testés

Pour l'étude, nous avons utilisé trois modèles de biocapteurs différents (figure 1) : un modèle de bandeau frontal de la société Techmoled®, un modèle de bracelet de la société Empatica® et un capteur en position abdominal de la société Philips®. Les caractéristiques des différents capteurs sont résumées dans le ci-dessous (tableau 1).



Fig. 1 : Les trois types de biocapteurs testés (de gauche à droite) : bracelet Empatica®, bandeau Oxyflex®, capteur abdominal Philips®

Tab. 1 : Caractéristiques comparées des biocapteurs

Modèle	Technologie de recueil du signal et communication
Oxyflex®	Photopléthysmographie, accéléromètrie, T° cutanée, communication bluetooth
Empatica®	Activité électrodermale, photopléthysmographie, accéléromètrie, T° cutanée, communication bluetooth
Philips®	Impédancemétrie, accéléromètrie, communication LoRa et 4G

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

2.5 Site de mesure des biocapteurs

Les biocapteurs étaient mis en place sur des plastrons dans les positions suivantes (figure 2) :

- poignet pour le bracelet Empatica® ;
- front pour le bandeau Techmoled® ;
- paroi abdominale pour le capteur Philips®.



Fig. 2 : Position des biocapteurs

2.6 Paramètres physiologiques mesurés par les biocapteurs

Les paramètres recueillis en fonction du type de capteur sont résumés dans le tableau ci-dessous (tableau 2).

Tab. 2 : Paramètres recueillis par les biocapteurs

Capteurs	Paramètres physiologiques
Oxyflex®	Spo2, FC, T°, Index de perfusion, FR, position
Empatica®	FC, T°, mouvements
Philips®	FC, FR, position, niveau d'activité

2.7 Éthique

L'étude ne portant que sur la faisabilité de la mesure des capteurs évalués en condition d'exercice, ne comportant pas de données identifiantes et ne relevant pas de la loi sur la recherche impliquant la personne humaine, elle n'a pas nécessité d'évaluation éthique auprès d'un comité de protection des personnes, ni d'un comité d'évaluation de la recherche.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

3 Résultats de l'étude des biocapteurs pendant ORION

3.1 Mise en place des biocapteurs

Il n'était observé aucune difficulté lors de la mise en place des capteurs. La manipulation du capteur type bandeau frontal a semblé plus complexe aux opérateurs au moment de la mise en route.

3.2 Nombre de capteurs testés

Au total, quatre capteurs type bandeau frontal ont pu être testés, sept capteurs type bracelet et quatre capteurs de paroi abdominale, soit un total de 15 capteurs.

3.3 Acquisition des paramètres physiologiques

Le nombre de valeurs enregistrées par les biocapteurs est indiqué dans le tableau ci-dessous (tableau 3). Ce nombre de valeurs dépendait de la fréquence d'échantillonnage réglée sur le capteur, mais également de sa capacité à enregistrer un signal. Les capteurs Philips® sont ceux qui ont enregistré le moins de données.

Tab. 3 : Nombre de valeurs enregistrées par capteur et par type de paramètre physiologique

Capteurs	Durée d'enregistrement	Exercice	SpO2	Fc	T°	Index de perfusion	Fréquence respiratoire	Position/mouvements
Oxyflex® Capteur 1	48 min	Terre	449	449	449	340	435	449
Oxyflex® Capteur 2	17 min	Terre	187	187	187	147	187	187
Oxyflex® Capteur 3	50 min	Terre	478	478	484	149	469	484
Oxyflex® Capteur 4	ND	Terre	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Empatica® Capteur 1	325 min	Mer	NA	19541	78208	NA	NA	623662
Empatica® Capteur 2	328 min	Mer	NA	19718	78920	NA	NA	631340
Empatica® Capteur 3	292 min	Mer	NA	17513	70096	NA	NA	560862
Empatica® Capteur 4	325 min	Mer	NA	19502	78056	NA	NA	624444
Empatica® Capteur 5	302 min	Mer	NA	18250	73032	NA	NA	584364
Empatica® Capteur 6	66 min	Terre	NA	3970	15884	NA	NA	127074
Empatica® Capteur 7	66 min	Terre	NA	3985	15944	NA	NA	127552
Philips® Capteur 1	60 min	Terre	NA	0	NA	NA	8	16
Philips® Capteur 2	60 min	Terre	NA	1	NA	NA	12	12
Philips® Capteur 3	60 min	Terre	NA	0	NA	NA	1	10
Philips® Capteur 4	60 min	Terre	NA	1	NA	NA	5	10

Notes. NA : non applicable. ND : donnée non disponible.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

3.4 Données aberrantes

Parmi les données transmises, la proportion de données avec des valeurs estimées aberrantes est indiquée dans le tableau (tableau 4). La plus grande proportion de valeurs aberrantes a été observée avec le capteur type bandeau frontal. Il a été constaté sur trois des quatre capteurs de paroi abdominale un enregistrement de données alors même que le capteur n'était plus en place.

Tab. 4 : Proportion de données avec des valeurs aberrantes en fonction des paramètres physiologiques

Capteurs	SpO2	Fc	Fréquence respiratoire
Oxyflex® Capteur 1	82/449 18 %	42/449 10,6 %	108/435 24,8 %
Oxyflex® Capteur 2	8/187 4,3 %	3/187 1,6 %	99/187 53 %
Oxyflex® Capteur 3	167/478 34,9 %	92/478 19,2 %	469/469 100 %
Oxyflex® Capteur 4	ND	ND	ND
Empatica® Capteur 1	NA	0/19541 0 %	NA
Empatica® Capteur 2	NA	883/19718 4,5 %	NA
Empatica® Capteur 3	NA	74/17513 0,4 %	NA
Empatica® Capteur 4	NA	111/19502 0,6 %	NA
Empatica® Capteur 5	NA	0/18250 0 %	NA
Empatica® Capteur 6	NA	0/3970 0 %	NA
Empatica® Capteur 7	NA	0/3985 0 %	NA
Philips® Capteur 1	NA	0/0	0/8 0 %
Philips® Capteur 2	NA	0/1	0/12 0 %
Philips® Capteur 3	NA	0/0	0/1
Philips® Capteur 4	NA	0/1	0/5 0 %

Notes. Les seuils des valeurs évaluées aberrantes ont été définis ainsi : SpO2 < 95 % FR < 10 ou > 30 Fc < 40/min ou > 120/min. NA : non applicable. ND : donnée non disponible.

4 Discussion

Au cours de cette étude, nous avons pu observer que les biocapteurs testés étaient capables d'enregistrer des paramètres physiologiques sur un blessé de guerre simulé, y compris en phase de transport.

À notre connaissance, il s'agit de la première étude à évaluer la faisabilité d'utilisation de biocapteurs dans ce contexte. Les cas d'usage actuels sont, en effet, essentiellement des usages civils en temps de paix pour le monitorage de patients hospitalisés, de patients en ambulatoire dans le cadre de la télémédecine (5).

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

Si tous les capteurs ont pu enregistrer des paramètres vitaux durant les phases simulées, notons que leurs performances, évaluées dans notre étude par la proportion de valeurs aberrantes, n'étaient pas similaires. Ainsi, les capteurs type bracelet sont ceux qui ont enregistré le moins de valeurs aberrantes. Ces différences de performances entre biocapteurs ont déjà été décrites dans la littérature. Une étude en contexte hospitalier dans un service chirurgical comparant la mesure de la fréquence cardiaque et de la fréquence respiratoire réalisée par biocapteurs et par monitorage standard retrouvait une corrélation acceptable entre les deux techniques de mesures, à l'exception de la mesure de la fréquence respiratoire pour l'un des biocapteurs testés dont les résultats étaient considérés en dehors des limites acceptables (12).

Observons également que le volume de valeurs enregistrées est important, ce qui est également une caractéristique décrite dans la littérature (5). S'il est dépendant de la fréquence d'échantillonnage réglée sur le capteur, il dépend également de la capacité du capteur à pouvoir effectivement détecter un signal. Ainsi, sur des durées d'enregistrement d'un peu plus de 300 min, les capteurs type bracelet Empatica® ont pu échantillonner plus de 500 000 signaux correspondant à la position. Cela confirme le potentiel de ces dispositifs de recueillir un volume important de données d'être associé à des outils d'analyse prédictive type intelligence artificielle (5,9).

La principale limite de notre étude était liée au fait que les biocapteurs étaient testés sur des volontaires sains, et non des blessés de guerre. De fait, notre étude ne permettait pas de conclure à la performance de ces biocapteurs dans des conditions de perfusion potentiellement altérées. Cela est d'autant plus vrai pour les biocapteurs basés sur la photopléthysmographie et l'analyse de l'onde de pouls.

Par ailleurs, nous n'avons testé qu'un nombre restreint de biocapteurs. Néanmoins, ceux-ci représentaient deux technologies différentes de recueil du signal (photopléthysmographie et impédancemétrie), ainsi que trois sites anatomiques différents de recueil du signal, permettant d'avoir un échantillon représentatif des dispositifs actuellement commercialisés.

Rappelons que la performance des biocapteurs n'a pu être évaluée en comparaison à une monitorage standard, ce qui est la méthode de référence décrite dans la littérature (12). Néanmoins, notre méthodologie, si elle ne permet pas de mesurer la performance au sens métrologique, permet de déterminer la proportion de données comme étant erronée et donc non interprétables cliniquement.

Enfin, les biocapteurs n'étaient utilisés qu'en mode enregistrement, ou « boîte noire ». Ils ne communiquaient pas les constantes en temps réel, et de fait les paramètres vitaux enregistrés n'étaient pas utilisables directement. Seuls les biocapteurs Philips® envoyaient les données recueillies vers un serveur consultable à distance (communication *via* le réseau 4G).

Ainsi, le retour d'expérience de l'utilisation des biocapteurs au cours de l'exercice Orion laisse entrevoir des perspectives de facilitation de prise en charge des blessés à l'avant par l'automatisation du recueil des paramètres physiologiques. Cela s'intègre dans un effort d'automatisation de la chaîne de survie des blessés de guerre permettant de gagner en rapidité de traitement et de réaction malgré le nombre de blessés à prendre en charge (2). Néanmoins, ce « simple » recueil automatisé des paramètres

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

physiologiques n'est pas suffisant pour gagner en réactivité, et il doit être associé à l'intégration de score de gravité et d'algorithme décisionnel. L'intégration de l'ensemble de ces éléments réalise un système automatisé de soins tactiques au combat (2).

C'est ce type de système associant recueil automatisé des paramètres vitaux, scores d'alerte, et algorithme décisionnel qui a montré son intérêt en terme de diminution de la mortalité en contexte civil pour la prise en charge de patients en service médical et chirurgical (13,14). Il s'agit d'une boucle complète allant du recueil automatisé (en partie ou totalement) des paramètres physiologiques, de l'intégration dans des scores d'alerte précoce, associé à un algorithme décisionnel précisant au soignant de première ligne la conduite à tenir. L'ensemble de ces éléments définit un système d'alerte précoce ou *early warning system* (3).

Cette « automatisation » serait d'autant plus d'intérêt avec une transmission de l'information tout au long de chaîne santé permettant de réaliser une véritable cartographie des blessés mise à jour en temps réel et connu de l'ensemble des acteurs, ou à défaut d'acteurs choisis. Le bénéfice serait triple en terme de recensement, identification et triage des blessés (4). Des prototypes d'application sur tablette intégrant les données issues des biocapteurs existent et laissent entrevoir le développement de système utilisable à moyen terme (figure 3). L'état des blessés est mis à jour en temps réel en fonction des paramètres vitaux transmis par les biocapteurs. Il s'agit d'une cartographie des blessés en temps réel permettant le monitorage simultané de plusieurs dizaines de blessés (25 blessés dans le prototype d'application utilisé au cours de l'exercice ORION [figure 3]). L'utilisabilité de telles applications reste néanmoins à réaliser sur le terrain.



Fig. 3 : Photo d'écran d'un prototype d'application de triage au cours de l'exercice ORION

Néanmoins, avant l'utilisation en routine de tels systèmes, des défis restent à relever. L'automatisation de la chaîne santé reposant sur les biocapteurs, l'optimisation de leur utilisation en conditions de « vraie vie » et de « vraie vie au combat » reste à mener. Ainsi, le site de mesure le plus adapté reste à déterminer. Il est probable que selon les blessures, tous les sites potentiels ne seront pas accessibles. Un capteur ayant la possibilité d'être positionné sur différents sites (poignet, front) serait une solution la plus adaptée. Par ailleurs, la transmission de la donnée reste un sujet de préoccupation. Les capteurs fonctionnaient en mode boîte noire dans notre étude.
Cela n'a que peu d'intérêt dans la vraie vie puisque l'information n'est pas immédiatement exploitable. Plusieurs technologies ont été testées sur les solutions commercialisées : Bluetooth®, onde radio basse fréquence (LoRa), 4G. En pratique, toutes posent le problème de la discrétion électromagnétique de rigueur dans les conflits modernes.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

Si le Bluetooth® à faible portée pourrait être une solution rapidement envisageable (avec un terminal à proximité permettant de visualiser la donnée, type tablette), le plus intéressant serait certainement des modèles de biocapteurs permettant une visualisation directe des paramètres vitaux, ou à défaut permettant la visualisation de l'état du blessé (affichage vert, orange, ou rouge en fonction du niveau de gravité). À notre connaissance, une intégration de ce type d'information sur un biocapteur n'existe pas dans les solutions actuellement commercialisées.

Conclusion

Les biocapteurs ont le potentiel pour permettre le recueil automatisé des paramètres physiologiques des blessés de guerre, et ainsi participer à l'optimisation de la chaîne santé en situation de haute intensité par une accélération de la décision médicale.

Néanmoins, notre étude sur volontaires sains ne permet pas de conclure quant à la performance de ces biocapteurs dans des conditions de perfusion potentiellement altérées qui sont les conditions des blessés de guerre. Par ailleurs, d'autres questions restent à résoudre pour leur utilisation dans un système automatisé de soins tactiques au combat ; site préférentiel de pose du biocapteur, fiabilité de la donnée transmise, transmission de la donnée en temps réel le long de la chaîne santé, et intégration dans un système d'alerte précoce et évolutif.

Les axes de développement de ces technologies pour le Service de santé des armées sont multiples ; définir les paramètres vitaux les plus pertinents à recueillir, poursuivre les études de validation des biocapteurs actuellement disponibles dans des conditions se rapprochant de celles du blessé de guerre, développer des systèmes intégrés du biocapteurs à l'algorithme décisionnel. Dans tous les cas, ces études seront à mener en collaboration avec les industriels pour adapter les solutions déjà existantes aux spécificités des conditions de combat.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le directeur du laboratoire de biomécanique appliquée, M. Pierre-Jean Arnoux, pour son aide précieuse dans la réalisation de ce travail.

Les auteurs remercient également le médecin en chef Charles-Édouard Vallet qui a facilité la réalisation de l'exercice pour la phase navale d'ORION 2.

Remerciements au linguiste relecteur : Pierre-Alexandre Clerc.

Contribution des auteurs

Recueil des données, analyse, rédaction : JB et QM - Recueil des données : PR
Analyse, rédaction : MC et SB

Conflit d'intérêt

Les auteurs ne déclarent aucun lien d'intérêt avec les industriels des solutions évaluées lors de l'exercice ORION.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

Références bibliographiques

1. Meaudre E. Évolution des conflits armés, conséquences pour l'anesthésiste-réanimateur militaire. Bulletin de l'Académie nationale de médecine. 2024 ;208(8) :1082-9. doi : 10.1016/j.banm.2024.03.015
2. Talley MJ. Automating the survival chain and revolutionizing combat casualty care : human-technology teaming on the future battlefield. Military Review. 2024 ;(Nov-Dec) :120-30. Disponible : https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/English-Edition-Archives/May-June-2024/MJ-24-Combat-Casualty-Care/.
3. Shiloh AL, Lominadze G, Gong MN, Savel RH. Early warning/track-and-trigger systems to detect deterioration and improve outcomes in hospitalized patients. Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine. 2016 ;37(1) :88-95. doi : 10.1055/s-0035-1570352
4. Nino V, Claudio D, Schiel C, Bellows B. Coupling wearable devices and decision theory in the United States emergency department triage process : a narrative review. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020 ;17(24) :9561. doi : 10.3390/ijerph17249561
5. Vo D-K, Trinh KTL. Advances in wearable biosensors for healthcare : current trends, applications, and future perspectives. Biosensors. 2024 ;14(11) :560. doi : 10.3390/bios14110560
6. Service de l'État dans la Marne. Exercice ORION 2023 : un entraînement commun en interarmées et en multinational au cœur de la Marne. Châlons-en-Champagne (FR) : Préfecture de la Marne. Disponible : https://www.marne.gouv.fr/Actualites/Toute-l-actualite/Fil-d-actualite/L-Etat-acteur-dans-le-departement/2023/Exercice-ORION-2023-Un-entrainement-commun-en-interarmees-et-en-multinational-au-coeur-de-la-Marne
7. Smith AA, Li R, Tse ZTH. Reshaping healthcare with wearable biosensors. Scientific Reports. 2023 ;13 :4998. doi : 10.1038/s41598-022-26951-z
8. Kim J, Campbell AS, de Ávila BE-F, Wang J. Wearable biosensors for healthcare monitoring. Nature Biotechnology. 2019 ;37(4) :389-406. doi : 10.1038/s41587-019-0045-y
9. Un K-C, Wong C-K, Lau Y-M, Lee JC-Y, Tam FC-C, Lai W-H, *et al.* Observational study on wearable biosensors and machine learning-based remote monitoring of COVID-19 patients. Scientific Reports. 2021 ;11 :4388. doi : 10.1038/s41598-021-82771-7
10. Hopf S, Graf B, Gruber M. Comparison of point-of-care testing glucose results from intensive care patients measured with network-ready devices. Diabetes Technology & Therapeutics. 2011 ;13(10) :1047-56. doi : 10.1089/dia.2011.0051
11. Abdolrazzaghi M, Nayyeri V, Martin F. Techniques to improve the performance of planar microwave sensors : a review and recent developments. Sensors. 2022 ;22(18) :6946. doi : 10.3390/s22186946
12. Breteler MJM, KleinJan EJ, Dohmen DAJ, Leenen LPH, van Hillegersberg R, Ruurda JP, *et al.* Vital signs monitoring with wearable sensors in high-risk surgical patients. Anesthesiology. 2020 ;132(3) :424-39. doi : 10.1097/ALN.0000000000003029
13. Wu C-L, Kuo C-T, Shih S-J, Chen J-C, Lo Y-C, Yu H-H, @et al.@ Implementation of an electronic national early warning system to decrease clinical deterioration in hospitalized patients at a tertiary medical center. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021 ;18(9) :4550. doi : 10.3390/ijerph18094550
14. Escobar GJ, Liu VX, Schuler A, Lawson B, Greene JD, Kipnis P. Automated identification of adults at risk for in-hospital clinical deterioration. New England Journal of Medicine. 2020 ;383(20) :1951-60. doi : 10.1056/NEJMsa2001090

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816