

خطوة نحو المستقبل

أحذية ذكية وتتبع روبوتي وذكاء اصطناعي لإعادة تأهيل الجيل القادم

أ.د. أويس أحمد قداوي

أستاذ هندسة الحاسوب، كلية الهندسة – جامعة قطر

د. نورة القحطاني

أستاذ باحث مساعد، مركز المواد المتقدمة (CAM)،

مكتب نائب رئيس الجامعة للبحث والابتكار (VPRI) – جامعة قطر

د. أجيمشا شرف الدين

طبيب، مؤسسة حمد الطبية

عبدالله المبارك

طالب، قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، كلية الهندسة، جامعة قطر

تُعد إعادة التأهيل رحلةً تتطلب الصبر والمثابرة، يتقدم خلالها المريض بخطوات متدرجة حتى يصل إلى محطات تعكس تحسن حالته. ورغم أهميتها، ظلت أساليب تقييم التعافي تعتمد على الملاحظات السريرية المحدودة أو الفحوصات المخبرية المتخصصة، التي لا تقدم سوى صورة جزئية عن تطوُّر المريض.

واليوم، يعمل باحثون في جامعة قطر على إحداث نقلة نوعية في هذا المجال من خلال دمج التقنيات القابلة للارتداء، والأنظمة الروبوتية، والذكاء الاصطناعي، لتطوير منظومة تتيح قياس حركة المريض وتحليلها وتحسينها لحظيًا.

ويقود هذا التحول ابتكاران رائدان هما SHIBBY وMESHY، اللذان يشكلان نظامًا ذكيًا متكاملاً يجمع بيانات الحركة من داخل الجسم ومن البيئة المحيطة، موفرًا رؤية شاملة وغير مسبوقة لتحليل المشية ودعم برامج إعادة التأهيل.

إعادة تصور إعادة التأهيل: من التقييم اللحظي إلى المتابعة المستمرة

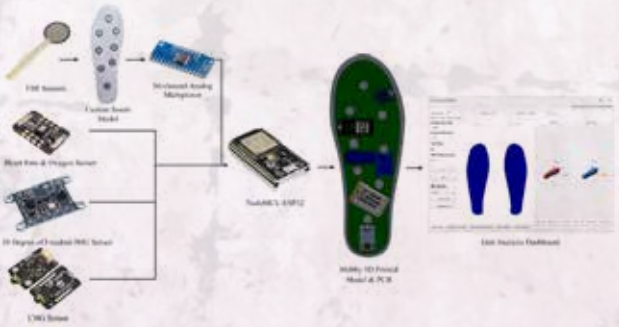
تعتمد أساليب تقييم إعادة التأهيل التقليدية على زيارات دورية للعيادات، حيث يقيِّم الأطباء حالة المريض من خلال الملاحظة المباشرة أو باستخدام أجهزة متخصصة. ورغم فاعليتها، فإنها تقدم تقييمات متقطعة لا تعكس الطبيعة المستمرة والديناميكية لحركة الإنسان.

أما رؤية SHIBBY وMESHY فتنطلق من مفهوم مختلف، إذ تحول إعادة التأهيل إلى عملية مستمرة تستند إلى البيانات، مع متابعة فورية لتقدم المريض وإتاحة مؤشرات دقيقة تدعم اتخاذ القرار العلاجي في أي وقت.

ولا يقتصر هذا التحول على تطوير التقنيات، بل يعيد تعريف إعادة التأهيل بوصفها عملية ذكية ومتواصلة تتكيف مع احتياجات كل مريض.

SHIBBY: ذكاء مدمج في كل خطوة

يشكل SHIBBY محور النظام القابل للارتداء، وهو نعل ذكي متعدد المستشعرات صُمم ليلائم الأحذية المخصصة بسهولة. ورغم حجمه الصغير، فإنه يمثل تقدمًا نوعيًا في تقنيات إعادة التأهيل (شكل 1).



الشكل (1): النعل الذكي SHIBBY.

يضم SHIBBY مجموعة من مستشعرات الضغط الحساسة التي ترصد باستمرار تفاعل القدم مع الأرض. فمع كل خطوة، يسجل النظام بيانات دقيقة عن توزيع الضغط على باطن القدم، موضحًا كيفية انتقال الوزن، والحفاظ على التوازن، ومدى تماثل الحركة بمرور الوقت (شكل 2).



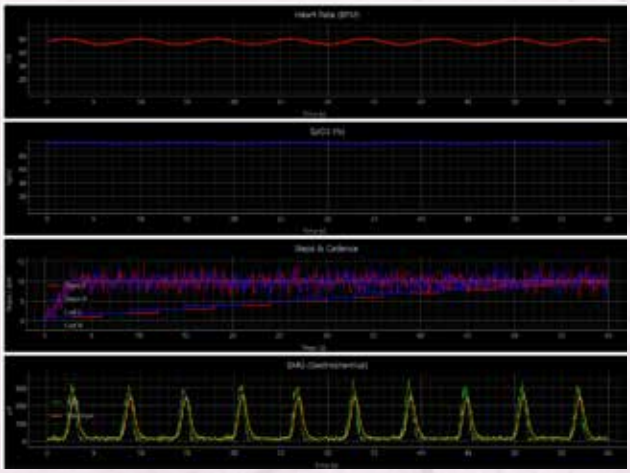
الشكل (2): توزيع الضغط على القدم كما يسجله SHIBBY.

وتكتسب هذه القياسات أهمية خاصة في برامج إعادة التأهيل، لا سيَّما للمرضى المتعافين من السكتات الدماغية، أو الإصابات، أو اضطرابات الحركة.

ولا تقتصر إمكانات SHIBBY على ذلك، إذ يدمج عدة تقنيات استشعار تشمل:

- تتبع الحركة باستخدام وحدات القياس بالقصور الذاتي لرصد ديناميكيات الحركة.
- مراقبة معدل ضربات القلب لتقييم الاستجابة الفسيولوجية.
- تسجيل الإشارات الكهربية للعضلات (EMG) لقياس نشاطها.

وتتكامل هذه البيانات لتوفر صورة شاملة متعددة الأبعاد لحركة الإنسان، تربط بين الميكانيكا الحيوية للحركة والاستجابة الفسيولوجية للجسم (شكل 3).



الشكل (3): تكامل البيانات بين الميكانيكا الحيوية والوظائف الفسيولوجية.

وتُنقل جميع البيانات لاسلكيًا إلى لوحة معلومات رقمية تفاعلية، تُمكِّن الأطباء من متابعة:

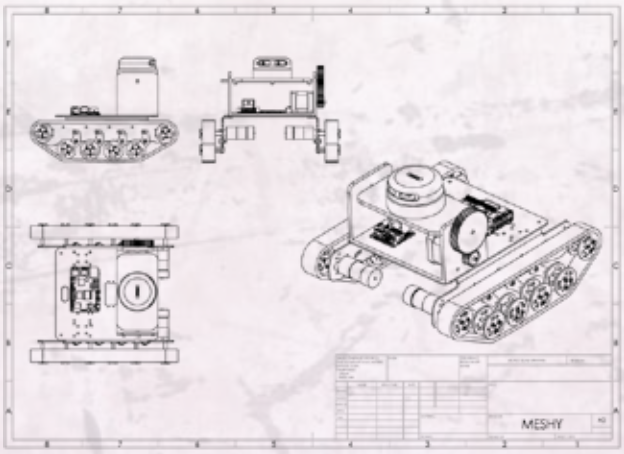
- أنماط المشي ومعدل الخطوات.
- توزيع الأحمال ومستوى التوازن.
- نشاط العضلات والاستجابة القلبية الوعائية.

وبذلك تتحول البيانات المعقدة إلى مؤشرات واضحة وقابلة للتطبيق، تدعم اتخاذ قرارات علاجية أكثر دقة، وتتيح متابعة المرضى بصورة مستمرة خارج نطاق المختبرات التقليدية.

MESHY : رؤية شاملة لحركة المريض

إذا كان SHIBBY يرصد ما يحدث داخل الجسم، فإن MESHY يوفر منظورًا خارجيًا مكملاً لا يقل أهمية.

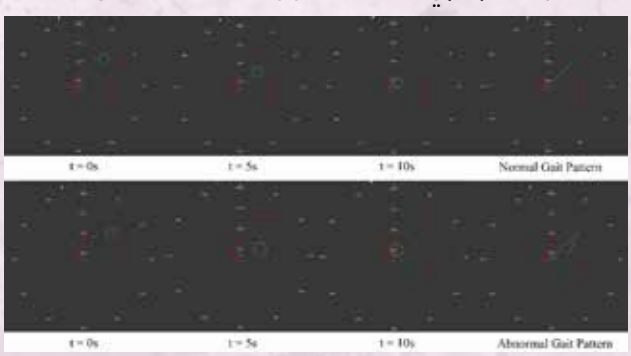
ويُعد MESHY منصة روبوتية ذاتية الحركة تعتمد على تقنية LiDAR (تقنية تحديد المواقع والمسافات باستخدام الليزر)، صُممت لمرافقة المرضى أثناء المشي بصورة طبيعية. وباستخدام تقنية المسح الليزري المتقدمة، يتتبع النظام موقع المريض وحركته باستمرار بدقة مكانية عالية (شكل 4).



الشكل (4): نظام MESHY الروبوتي لتتبع حركة المرضى.

ومع تحرك المريض، يعيد MESHY بناء مسار المشي لحظيًا (شكل 5)، ويولد مجموعة من المؤشرات الرئيسة لتقييم الأداء، منها:

- إجمالي مسافة المشي.
- انتظام مسار الحركة.
- الانحراف الجانبي.
- الاستقرار العام أثناء الحركة.

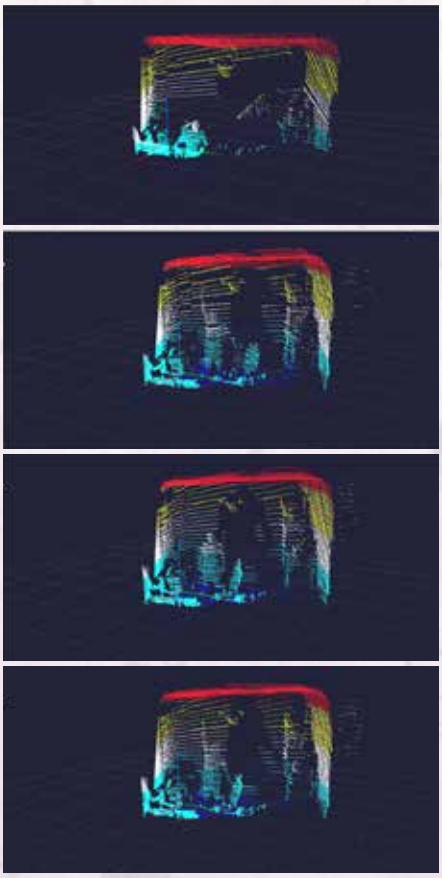


الشكل (5): تتبع مسار المشية لحظيًا بواسطة MESHY.

ولا تقتصر إمكاناته على تتبع الحركة؛ فمن خلال نظام LiDAR الدَّوار، يُنشئ MESHY نموذجًا ثلاثي الأبعاد ديناميكيًا للمريض أثناء الحركة (شكل 6)، مما يتيح تحليلاً دقيقًا لخصائص المشية، ومنها:

- استقامة القوام.
- تمايل الجذع.
- تباين طول الخطوات.
- تنسيق حركة الأطراف.

وتُعد هذه المؤشرات، رغم دقتها، عناصر أساسية لتقييم التعافي، وغالبًا ما يصعب قياسها بالوسائل التقليدية. ومن خلال رصدها بدقة عالية، يوفر MESHY فهمًا أعمق وأكثر شمولاً لكيفية تطوُّر حركة المرضى وتحسُّنها مع مرور الوقت.



الشكل (6): نموذج ثلاثي الأبعاد لحركة المريض أنشأه MESHY.

رؤية متكاملة: عندما تتحول البيانات إلى معرفة

يمثل كل من SHIBBY وMESHY ابتكارًا متقدمًا بحد ذاته، إلا أن تكاملهما يخلق منظومة ذكية توفر رؤية شاملة لحركة الإنسان من الداخل والخارج. فمن خلال مزامنة بيانات المستشعرات القابلة للارتداء مع خرائط مسار الحركة، يقدم النظام نموذجًا ثنائي المنظور لتحليل المشية، يجمع بين المؤشرات الداخلية للجسم: مثل نشاط العضلات، وتوزيع الضغط، والاستجابة الفسيولوجية، والمؤشرات الخارجية: مثل أنماط الحركة، ووضعية الجسم، والاستقرار المكاني.

ويمثل هذا التكامل خطوة مهمة في تطوير علوم إعادة التأهيل، إذ يتيح للأطباء الانتقال من الاعتماد على قياسات منفصلة إلى فهم شامل للتعافي يستند إلى البيانات. وفي هذا النموذج، لا تُسجل كل خطوة فحسب، بل تُحلل وتُفسَّر لتتحول إلى مؤشرات دقيقة تدعم اتخاذ القرار العلاجي.

ابتكار متاح: من العيادة إلى المنزل

تكمن إحدى أبرز مزايا منظومة SHIBBY–MESHY في سهولة تطبيقها. فبعكس الأنظمة المخبرية التقليدية، التي تتسم بارتفاع تكلفتها وارتباطها بمواقع محددة، صُممت هذه المنظومة لتكون:

- قابلة للنقل.
- منخفضة التكلفة.
- قابلة للتوسع.

ويجعل ذلك استخدامها مناسبًا في البيئات السريرية، وكذلك في برامج إعادة التأهيل المنزلية تحت إشراف المختصين، مما يتيح متابعة المرضى بصورة أكثر انتظامًا دون الحاجة إلى زيارات متكررة للمستشفى.

كما يمهد هذا المستوى من المرونة الطريق أمام برامج إعادة تأهيل شخصية، تتطور وفق بيانات حقيقية ومستمرة، بدلاً من الاعتماد على تقييمات متباعدة.

استشراف مستقبل الرعاية الصحية

مع تسارع التحول الرقمي في قطاع الرعاية الصحية، تُجسد ابتكارات مثل SHIBBY وMESHY مستقبلاً أكثر ذكاءً وترابطًا، يضع المريض في محور العملية العلاجية.

ويعكس هذا الإنجاز أيضًا أهمية التكامل بين تخصصات الهندسة والطب والعلوم التطبيقية، إذ أسهم هذا التعاون في تطوير حل يجمع بين التقدم التقني والقيمة السريرية.

كما يؤكد إسهام الطلبة في المشروع الدور المحوري للتعليم في تعزيز الابتكار، من خلال إتاحة فرص المشاركة العملية التي تؤهل الجيل القادم من المهندسين والباحثين لمواجهة تحديات الرعاية الصحية المستقبلية.

الخاتمة: كل خطوة تُقاس... وتُفهم

لم تعد إعادة التأهيل تقتصر على زيارات العيادات أو التقييمات الدورية. فمع SHIBBY وMESHY أصبحت عملية ذكية ومستمرة ترصد حركة الإنسان بكل تفاصيلها.

وفي هذا النموذج الجديد، لا تُجمع البيانات فحسب، بل تُحوَّل إلى معرفة تدعم فهم حالة المريض، ويُقاس التقدم بدقة لتوجيه مسار العلاج. والأهم من ذلك، أن كل خطوة يخطوها المريض تصبح جزءًا من رحلة تعافٍ يمكن قياسها ودعمها وتحسينها، لتغدو كل خطوة في المستقبل ليست مجرد حركة، بل خطوة مفهومة بكل أبعادها.