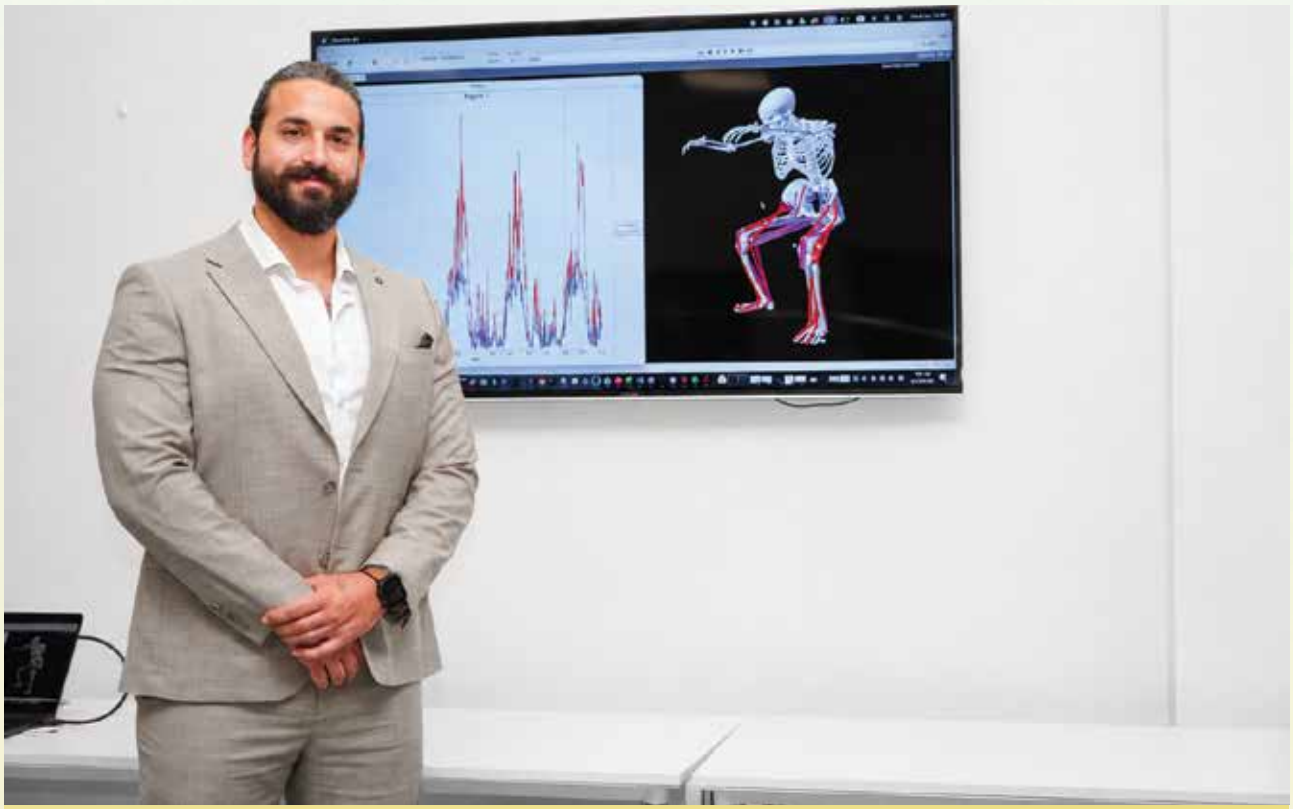
ما وراء عد الخطوات ومعدل ضربات القلب

جهاز قابل للارتداء يكشف ما تتحمله العضلات والمفاصل



أ.د. أويس قداوي،
أستاذ هندسة الحاسوب، كلية الهندسة – جامعة قطر

د. روني إبراهيم،
أستاذ مساعد في الميكانيكا الحيوية، كلية علوم الرياضة – جامعة قطر

أصبحت أجهزة تتبُّع اللياقة البدنية والساعات الذكية الحديثة تُتيح عد الخطوات وقياس معدل ضربات القلب وتقدير السعرات الحرارية المحروقة، ومدى التعافي والجاهزية للتمرين التالي بالاستناد إلى الجهاز القلبي الوعائي. غير أن أيًا من هذه الأجهزة لا يجيب عن سؤال أكثر جوهرية لكل من يتحرك أو يتدرب أو يتعافى من إصابة: ما مقدار الحِمل الميكانيكي الفعلي الذي تتحمله العضلات والأوتار والمفاصل أثناء كل حركة؟ كما أنها لا تستطيع تحديد ما إذا كانت العضلات قد تعافت وأصبحت مستعدة للتمرين التالي. وقد ظلَّت هذه المعلومات حتى الآن حبيسة مختبرات الميكانيكا الحيوية المتخصصة المجهزة بأنظمة التقاط الحركة المعتمدة على الكاميرات، ومنصات القوى، والمحلِّلين المتخصصين. أما الآن، فيهدف نظام جديد قابل للارتداء، طُوِّر في جامعة قطر، إلى نقل هذه الرؤية المتقدمة من المختبر إلى جسم المستخدم، وإتاحتها في الوقت الفعلي.

يُعد هذا الاختراع، الذي نُشر مؤخرًا كطلب براءة اختراع في الولايات المتحدة (US20250352122A1)، الأول من نوعه الذي يصدر عن كلية علوم الرياضة، وطُوِّر بالتعاون مع كلية الهندسة. وقد ابتكره الدكتور روني إبراهيم، من كلية علوم الرياضة، والأستاذ الدكتور أويس قداوي من كلية الهندسة.

إشكالية النظر إلى ما يجري داخل الحركة

لا يمكن قياس القوى داخل الجسم قياسًا مباشرًا من دون إجراءات جراحية. ولذلك يقدرها أخصائيو الميكانيكا الحيوية تقديرًا غير مباشر، عبر الجمع بين كيفية تحرك الجسم والقوى الخارجية المؤثرة فيه وطريقة تنشيط عضلاته. ويُستدل على ذلك من خلال إشارتين متكاملتين. فوحدات القياس بالقصور الذاتي (IMUs)، وهي حساسات التسارع والسرعة الزاوية والحقل المغناطيسي نفسها الموجودة في الهواتف الذكية، تتتبَّع كيفية تسارع كل جزء من أجزاء الجسم ودورانه. أما تخطيط النشاط الكهربائي للعضلات السطحي (EMG)، فيسجل الإشارات الكهربائية التي تطلقها العضلات عند انقباضها. وتوفر الحركة والنشاط العضلي معًا البيانات الخام التي يمكن من خلالها إعادة بناء القوى الخارجية وتقدير الأحمال الداخلية.

تكمن الصعوبة في موضع تثبيت المستشعرات على الجسم. ولكي توفر وحدة القياس بالقصور الذاتي بيانات اتجاه دقيقة ونقية، ينبغي أن توضع حيث يتحرك الجلد بأقل قدر أثناء الانقباض العضلي. وفي المقابل، يجب وضع أقطاب تخطيط النشاط الكهربائي للعضلات مباشرةً فوق بطن العضلة لالتقاط إشارة قوية وواضحة وخالية من التشويش. أما المستشعرات المدمجة التقليدية فتجمع المكونين داخل غلاف واحد وفي موضع واحد، ما يُضعف أحد القياسين لخدمة الآخر.



أثناء تجريب الابتكار على المستخدم.

تصميم يفصل بين المستشعرات لتحسين الأداء

يقوم جوهر الابتكار على الفصل بين المستشعرين بحيث يمكن وضع كلٍّ منهما حيث يؤدي وظيفته على أفضل وجه، مع إبقائهما جزءًا من نظام واحد متصل. فتُثبَّت أقطاب تخطيط النشاط الكهربائي للعضلات فوق بطن العضلة، عبر أسلاك قابلة للفصل ذات طول قابل للتعديل أو لاسلكيًا، في حين توضع وحدة القياس بالقصور الذاتي على الجزء نفسه من الجسم في موضع تكون فيه حركة الجلد في حدها الأدنى. فعلى سبيل المثال، في منطقة الفخذ يمكن للأقطاب أن تقرأ العضلات الرباعية عند بطنها، في حين تستقر وحدة القياس بالقصور الذاتي على الجانب الخارجي من منتصف الفخذ، حيث يبقى النسيج الكامن تحته

ساكنًا نسبيًا. والنتيجة بيانات أكثر دقة ونقاءً من كلتا القناتين وصورة أدق لحركة الطرف وأدائه.

تحويل الإشارات إلى قوى

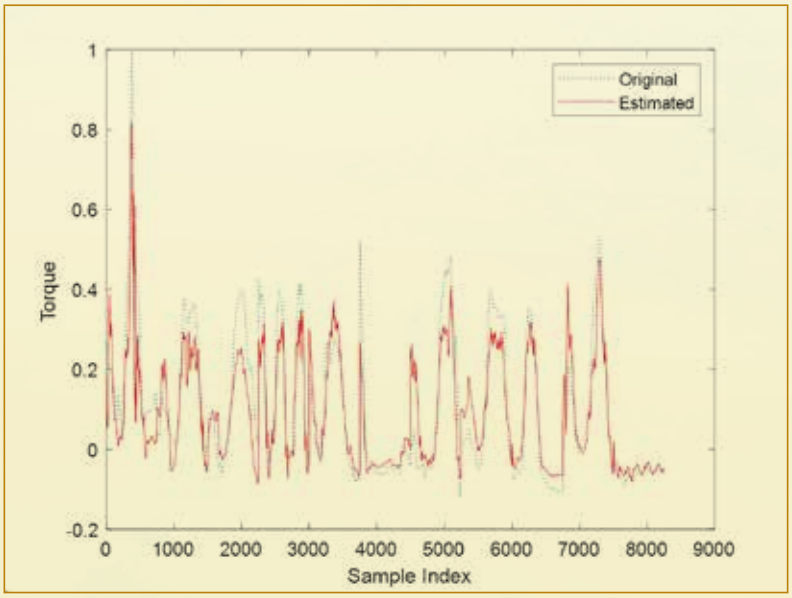
لا تمثل إشارات الحركة الخام (IMU) وإشارات العضلات (EMG) بحد ذاتها، قياسات لحمل المفصل أو النسيج. ويسد الابتكار هذه الفجوة عبر التعلم الآلي. إذ يُدرَّب النموذج أولاً في المختبر بالاستناد إلى مراجع المعيار الذهبي: الحركة الثلاثية الأبعاد التي تُقاس بأنظمة الكاميرات الكهروضوئية، وقوى رد فعل الأرض المقاسة بمنصات القوى، والنشاط العضلي المسجَّل بتخطيط النشاط الكهربائي للعضلات. وتُعالَج هذه البيانات المخبرية عبر نموذج عضلي هيكلي مفصَّل باستخدام OpenSim، وهي منصة محاكاة مفتوحة المصدر واسعة الاستخدام، لحساب الأحمال الداخلية التي لا يمكن قياسها مباشرةً. وبعد التدريب، يعيد النموذج إنتاج التقديرات نفسها انطلاقًا من بيانات الجهاز القابل للارتداء الميدانية وحدها (r = 0.9، RMSE = 0.08 Nm؛ الشكل 1)، مع تكييف تنبّؤاته وفق خصائص الفرد من خلال مدخلات مثل كتلة الجسم، والطول، والعمر، والحركة التي يؤديها، وأيّ وزن خارجي يُرفع.

وانطلاقًا من هذه المدخلات، يمكن للنظام أن يقدم مباشرةً مجموعة واسعة من المتغيرات ذات الأهمية السريرية والرياضية: أنماط تنشيط العضلات، وصافي عزم المفصل، وقوى رد فعل الأرض، وقوى التلامس داخل المفصل، وقوى العضلات والأوتار الفردية، وشد الأربطة، وإجهاد الغضروف، وضغط الأقراص بين الفقرات، وانفعال العظام. وتعرض لوحة معلومات مباشرة هذه القيم بيانيًا، بألوان تتغيّر كلما اقتربت القراءات من حدود محددة مسبقًا، ما يتيح للمدرب أو المختص أو المستخدم تعديل الأداء الحركي أو شدة النشاط أثناء ممارسته بدلاً من الانتظار إلى ما بعد انتهائه.

أين يمكن استخدامه

تمتد التطبيقات لتشمل عددًا من الأولويات البحثية لجامعة قطر في مجالي الصحة والتقنيات الرقمية. ففي إعادة التأهيل والعلاج الطبيعي، يوفر النظام تغذية راجعة موضوعية ومستمرة حول مدى ملاءمة الأحمال الواقعة على المفاصل أثناء التعافي. وفي المجال الرياضي، يساعد الرياضيين على تحسين الحركة وإدارة الأحمال المرتبطة بخطر الإصابة. وفي الرعاية الصحية عن بُعد، يتيح مراقبة المرضى في منازلهم ممن يتعذر عليهم الحضور إلى العيادة.

وفي جميع هذه المجالات، ينقل الجهاز تقييم الجهاز العضلي الهيكلي من قياسات مختبرية متقطعة إلى قياس مستمر أثناء ممارسة الأنشطة اليومية.



الشكل (1): عزم مفصل الركبة المُقاس باللون الأزرق (المعيار الذهبي) والمقدَّر باللون الأحمر (نيوتن·متر) أثناء أداء تمرين القرفصاء.