

Ina Fichtner (Hrsg.)

Technologien im Leistungssport

Tagungsband zur 17. Frühjahrsschule
am 15./16. April 2015 in Leipzig

Inhalt

	Seite
Vorwort	7
Brown, N., Bichler, S. & Alt, W. Automatisierte Trainingsprotokollierung und -steuerung im Krafttraining	9
Nothaft, F. SwimImg – Head-up module for athletes	18
Oberländer, K. D., Fink, T. & Krauss, P. TEMULAB® – ein mobiles Muskel-Sehnen-Funktionslabor zur Strukturanalyse im Spitzen- und Nachwuchsleistungssport	23
Seidl, T. & Voll, D. RedFIR – Anwendung eines funkbasierten Trackingsystems zur lückenlosen Echtzeit-Leistungsdiagnostik am Beispiel des 100-m-Sprints	30
Heinisch, H.-D., Knoll, K. & Kindler, M. Entwicklung, Evaluierung und praktischer Einsatz eines judospezifischen Griffkraftmessgeräts	42
Kindler, M., Schnabel, U., Bunk, M., Wehrmann, M., Gräfe, C., Küchler, J. & Graumnitza, J. Neue Technologien im Schwimmen – Wettkampfanalyse und mobiler Messplatz	56
Dobner, H.-J., Polenz, T., Eberhardt, A. & Witt, M. Automatisches Sequencing im Skilanglauf	66
Naundorf, F., Brehmer, S., Lehmann, T., Jentsch, H., Wagner, R., Bunk, M., Wehrmann, M., Kindler, M. & Seidel, I. MIS Reck – Weiterentwicklung und Überführung ins Heimtraining an die Bundesstützpunkte	75
Nebas, T., Senner, V., Schott, W., Sporer, L. & Jagsch, M. Notausrösesystem für Skibindungen im Freeridersport und alpinen Rennsport	85
Huber, A., Brucker, P., Diez, L., Junior, V., Moritz, E. F., Olvermann, M., Semsch, H., Spitzenspfeil, P., Stehling, G., Valtingoier, I. & Waibel, K. Entwicklung eines Knieprotektors für den alpinen Skirennlauf	92

Bitterlich, N. & Ostrowski, C.	109
Prognostische Bewertung von Leistungstestergebnissen im Modell der fuzzy-basierten Trainingswirkungsanalyse	
Koch, M.	117
Untersuchungen zum Einsatz des Kompensationsbereichs zur Steuerung des Trainings im Biathlon	
Hübner, K	128
Wie viel Maximalkraft ist für explosivkräftige Bewegungen notwendig?	
Und wie kann diese ermittelt werden?	
Vorstellung des leistungsdiagnostischen Verfahrens „Muskelleistungsdiagnostik“	
Gohlitz, D. & Jahn, C.	140
Eindimensionale Kraftmessplatten zur Lauf- und Gehtechnikanalyse auf den Laufbändern des IAT	
Jahn, C., Witt, M. & Englert, M.	147
Komplexe Kraftmessung am Kajakergometer	
Hesse, M., Christ, P., Hörmann, T., Adams, M. & Rückert, U.	152
Die Entwicklung zukünftiger körpernaher Sensorsysteme für die autarke und mobile Trainingsunterstützung	
Autorenverzeichnis	162
Teilnehmende Institutionen	164
Aussteller/Sponsoren	165

Vorwort

Im April 2015 veranstaltete das Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) die 17. Auflage der Frühjahrsschule „Technologien im Leistungssport“. Erneut konnten durch die zweitägige Veranstaltung weit über 100 Teilnehmer, Referenten und Partner von Olympiastützpunkten, Spartenverbänden, Hochschulen, außeruniversitären Instituten, Forschungseinrichtungen und selbstverständlich Sportartspezialisten und Technologen des IAT angesprochen werden, um zu Inhalten im Themenfeld von Technologie und Leistungssport zu diskutieren. Die Schwerpunkte der Beiträge lagen im Bereich der Informatik, der spezifischen Anwendungen von Sensoren sowie der Entwicklung von sportartspezifischen Messplätzen. Ein erklärtes Ziel der Frühjahrsschule ist es dabei stets, Entwicklungen, Szenarien und Systeme, welche konkrete Anwendungen in der Sportpraxis aufzeigen, vorzustellen und zu diskutieren und damit die dringende Verzahnung von Anwendung und Entwicklung in diesem Bereich weiter voranzubringen.

Einen Höhepunkt stellte die Verleihung des 2014 angekündigten 1. ccc-Technologiepreises für den Themenbereich „Wissens- und Technologietransfer in den Leistungssport“ dar, welcher mit 2.000 € dotiert war und durch die Firma ccc software gmbh gestiftet wurde. Damit konnte der innovative Charakter um neue Technologien und deren Potenziale und Nutzung in der Sportpraxis stärker in das Zentrum der Tagung gestellt werden.

Der Ihnen vorliegende Tagungsband präsentiert zunächst die vier ausgewählten Bewerber um den ccc-Technologiepreis. Anschließend werden die Artikel entsprechend des laufenden Programms der Tagung wiedergegeben.

Erneut nahmen wir die Frühjahrsschule als Anlass, eine aktuelle technologische Entwicklung des Instituts in die Sportpraxis zu überführen und mit der Eröffnung der Tagung dem Spartenverband zu übergeben. 2015 ging es dabei um eine gemeinsame Arbeit zwischen Mitarbeitern der Messplatzentwicklung sowie der Sportinformatik des Fachbereichs MINT in Zusammenarbeit mit Spezialisten der Sportart Judo am IAT. Die zugrunde liegende Idee war, eine sportartspezifische Methode zur Messung der Griffkraft im Judo, speziell die maximale exzentrische Griff-(Halte-)Kraft am Ärmel bzw. Revers einer Judojacke gegen eine kontinuierliche Zugbewegung, zu erarbeiten. Es entstand ein Messgerät, welches diese Kraft des Griffes erfasst (s. Abb., S. 8 oben) und auch weiterhin im Rahmen der Leistungsdiagnostik im Judo zum Einsatz kommen wird. Im ersten Teil der Tagung wurde dieses spezifische Griffkraftmessgerät für Judo an den Spartenverband, stellvertretend an den Sportdirektor des Deutschen Judo-Bunds, Herrn Mark Borchert, übergeben. Nachfolgend wurde die Idee und deren Umsetzung in der Entwicklung sowie die Funktionsweise im Plenum erläutert. Der Verband wird dieses System gemeinsam mit der Fachgruppe Judo des IAT nutzen.

Im Namen des Instituts für Angewandte Trainingswissenschaft möchte ich mich herzlich bei allen Referenten und der Jury des Technologiepreises, aber auch bei

den Teilnehmern der Tagung für ihre Präsentationen und engagierten Diskussionen bedanken. Wir laden Sie herzlich ein, die Inhalte und Ergebnisse der Tagung auf den nächsten Seiten zu verfolgen.

Eine Tagung mit weit mehr als 100 Teilnehmern lässt sich nur mit der Unterstützung durch viele Seiten auf die Beine stellen. Daher gilt mein besonderer Dank ausdrücklich allen Kolleginnen und Kollegen, die an der inhaltlichen und organisatorischen Arbeit der Tagung sowie insbesondere an der Realisierung dieses Tagungsbands beteiligt waren. Sie alle haben die Tagung und die vorliegende Publikation zu einer interessanten und aktuellen Diskussion im Zusammenspiel von Technologie und Sport gemacht! Vielen, vielen herzlichen Dank für die tatkräftige und ideelle Hilfe!



Übergabe des Griffkraftmessgeräts an den Deutschen Judo-Bund (v. l. n. r.: Matthias Kindler, Dirk Büsch, Klaus Knoll, Ina Fichtner, Hans-Dieter Heinisch, Mark Borchert, Ulf Tippelt)



Verleihung des ccc-Technologiepreises 2015 (linkes Bild: Preisträger; rechtes Bild v. l. n. r.: Wolfgang Killing, Karlheinz Waibel, Sven Oester, Ulf Tippelt, Jens Heinrich, Kai Oberländer, Thomas Seidl, Francisca Nothaft, Niklas Brown, Ina Fichtner, Kerstin Witte)

Ina Fichtner
Wissenschaftliche Tagungsleitung

Leipzig, Januar 2016

SwimIng – Head-up module for athletes

Einleitung

Schwimmer erhalten bisher während ihres Schwimmtrainings kein Feedback zu ihrer aktuellen Leistung. Während Läufer auf ihre GPS-Uhren schauen oder Radfahrer einen Blick auf den Fahrradcomputer werfen können, haben Schwimmer aufgrund der verschiedenen Schwimmtechniken und der besonderen Bedingungen im Wasser keine Möglichkeit, leistungsrelevante Daten abzurufen. Der heutige Trend zur digitalen Welt hat dabei längst die Sportwelt erfasst. Damit in Zukunft auch Schwimmer stets Rückmeldungen zu ihrer Performance erhalten und ihr Training damit optimieren können, entwickelt SwimIng ein Head-up Modul, welches relevante Daten im Sichtfeld des Sportlers einblendet. Somit können z. B. die benötigte Zeit und die Anzahl der geschwommenen Bahnen live mitverfolgt werden.

Im Vergleich zu bereits vorhandenen Produkten (z. B. Bahnenzähler, Stoppuhren) werden den Sportlern durch ein Head-up Modul die relevanten Daten visuell und direkt während des Trainings zur Verfügung gestellt.

Head-up Modul von SwimIng

Mit dem Ziel, das Training für Schwimmer nachhaltig zu unterstützen, wird das Head-up Modul den Bedürfnissen der Athleten entsprechend entwickelt. Die Grundidee basiert auf der Hypothese, dass Schwimmer an ihren aktuellen Leistungsdaten interessiert sind und sie diese bis dato im Training nicht abrufen können. Die Anzeige von Parametern, wie der Zeit, der Anzahl der geschwommenen Bahnen, Zwischenzeiten sowie die Einblendung des Trainingsplans, soll das Schwimmtraining effektiver gestalten.

Das Head-up Modul besteht aus einer speziellen Optik, sodass das Display trotz des geringen Abstands zum Auge noch scharf gesehen werden kann. Über das Display, das über einen Mikrocontroller angesteuert wird, werden die entsprechenden Daten eingebettet. Erfasste Informationen können gespeichert werden und sind nach dem Training mithilfe einer Software abrufbar.

Die ersten Prototypen können neben der Zeit auch die Anzahl der geschwommenen Bahnen anzeigen. Verbaute Sensoren ermöglichen die Lagebestimmung und durch eine entsprechende Programmierung können Daten verarbeitet und angezeigt werden. Weitere Funktionen, wie die Anzeige des Trainingsplans, Zwischenzeiten oder Geschwindigkeiten, sind in Planung.

Um die Technik jederzeit von der Schwimmbrille trennen zu können, erscheint eine modulare Lösung sinnvoll. Somit kann auf der einen Seite jeder Sportler das Head-up Modul auf der eigenen Schwimmbrille fixieren, auf der anderen Seite muss bei Beschädigung der Schwimmbrille nur diese ausgewechselt werden.

Abb. 1 zeigt das Head-up Modul von SwimIng. Während in der schwarzen Box die Technik verbaut ist, lenkt die Optik den Blick auf das Display um und ermöglicht zusätzlich ein breites Sichtfeld auch unter Wasser. Hier ist es sehr wichtig, dass kein Auge des Schwimmers komplett abgedeckt wird und ein großes Sehspektrum garantiert werden kann. Dieses Modul kann an der eigenen Schwimmbrille befestigt werden.



Abb. 1. Head-up Modul

Aktuelle Entwicklungen verlagern die Technik an den Hinterkopf, sodass sich nur noch die Optik und das Display neben dem Auge befinden. Dadurch kann vorn das Gewicht verringert und hinten der größere Bauraum genutzt werden. Die Verbindungsleitung werden in Zukunft flexibel mit dem Schwimmbrillenband verbunden. Die größte Herausforderung ist neben der Miniaturisierung der Prototypen der Befestigungsmechanismus an der Schwimmbrille. Abb. 2 verdeutlicht die genannten Entwicklungsschritte.



Abb. 2. Aktueller Prototyp

Zusammen mit der gerade vorgestellten Hardware gewährleistet eine entsprechende Software eine umfangreiche Trainingsunterstützung. In Form einer App wird das Head-up Modul angesteuert, um Voreinstellungen, wie z. B. Bahnlänge oder Funktionen, die im Sichtfeld eingeblendet werden sollen, vorzunehmen. Außerhalb des

Wassers kommunizieren die Geräte über Bluetooth, sodass Einstellungen vom Handy an die Brille und Daten von der Brille ans Handy geschickt werden können. An einer Verbindung, die auch während des Einsatzes unter Wasser funktioniert, wird gearbeitet. Somit könnten Trainer mit ihren Athleten auch während einer Schwimmseinheit kommunizieren. Des Weiteren unterstützt die App den langfristigen Trainingsprozess. Aus einem Repertoire von Trainingsplänen kann sich jeder Sportler inspirieren lassen oder den gewünschten Trainingsplan im Sichtfeld einblenden und danach trainieren. Die während des Schwimmens gespeicherten Daten können nach der absolvierten Einheit wiederum ans Handy geschickt werden. Eine automatische Analyse ermöglicht die Trainingsdokumentation und die Beobachtung der langfristigen Leistungsentwicklung des Athleten. Diese Daten können an den Trainer weitergeleitet werden, sodass er stets einen aktuellen Stand seiner Schützlinge hat.

Nutzen im Breiten- und Leistungssport

Nachdem in vielen Sportarten bereits ein ständiges Leistungsfeedback möglich ist, kam die Idee, eine entsprechende Lösung für den Schwimmsport zu entwickeln. Dem ständigen Verzählen bei den geschwommenen Bahnen und dem Schielen zur Uhr am Beckenrand sollte Abhilfe geschaffen werden.

Die neue Technik soll Breiten- und vor allem Leistungssportler im Training unterstützen. Breitensportler können sich dann mehr auf die Schwimmtechnik konzentrieren und somit einen ökonomischeren Schwimmstil anstreben. Außerdem entfällt der Blick zur Beckenranduhr und die Sportler wissen dennoch, wie schnell sie unterwegs sind, denn vielen Breitensportlern ist es wichtig, eine Leistungsverbesserung in Form von schnelleren Zeiten zu sehen. Mit einer Vielzahl an Funktionen werden die unterschiedlichen Bedürfnisse der Athleten abgedeckt. Die Swimg App bietet den Breitensportlern ein Trainingstool in Form von Trainingsplänen und Leistungsberichten. Somit können sie nach einem strukturierten Plan trainieren und bekommen Rückmeldung zu ihrer langfristigen Leistungsentwicklung.

Leistungssportler kennen im Vergleich zu Breitensportlern ihre Zeiten für die einzelnen Strecken sehr genau. Für sie ist vor allem die Kommunikation zum Trainer während der Einheit interessant. Eingeblendete Informationen und Hinweise direkt vom Beckenrand könnten die Sportler zu noch besseren Ergebnissen führen. Die Einblendung einzelner Parameter, wie z. B. Geschwindigkeit oder Zwischenzeiten, ist dennoch interessant, um die Athleten zusätzlich zu motivieren. Die parallele Datenspeicherung und die ausgewertete Trainingsdokumentation ermöglichen ein automatisches Führen eines Trainingstagebuchs.

Neben den Athleten profitiert auch der Trainer. Die Coachfunktion der App ermöglicht einen ständigen Überblick über die Schwimmer. Aktuelle Daten werden dann in Echtzeit übertragen und der Trainer kennt somit den Leistungsstand seiner Schützlinge während der Schwimmseinheit. Angelegte Athletenprofile zeigen die Trainingsdokumentationen, die die Athleten an den Trainer schicken können.

Nicht nur Schwimmern, sondern auch Triathleten bietet das Head-up Display ein Mittel der Trainingsunterstützung. Aus über 100 geführten Interviews kristallisierte sich auch bei den Triathleten der Wunsch nach einer Möglichkeit des Leistungsfeedbacks heraus, denn bei den meisten ist das Schwimmen die schwächste Disziplin. Um mögliche Unterschiede bei den Bedürfnissen der Schwimmer und Triathleten herauszufinden, wurde ein onlinebasierter Fragebogen verschickt. Kernstück war die Bewertung vorgeschlagener Parameter, die im Sichtfeld eingeblendet werden sollen. Mithilfe einer fünfstufigen Skala konnten die Athleten von „unwichtig“ bis „sehr wichtig“ ihre Meinung äußern. An der Onlineumfrage haben knapp 200 Sportler teilgenommen. Während Schwimmer vor allem an Parametern, wie der Anzahl der geschwommenen Bahnen und zurückgelegten Meter interessiert sind, wünschen Triathleten neben der Anzahl der geschwommenen Meter auch die Einblendung von Hinweisen zur Schwimmtechnik. Funktionen wie die Gesamtzeit, Zwischenzeiten, Geschwindigkeiten und der Vergleich mit einer Zielzeit sind in beiden Zielgruppen als wichtig erachtet worden.

Auf der Basis dieser Erkenntnisse soll die Entwicklung des Head-up Moduls weiter vorangetrieben werden. Genannte Parameter sollen als Basisfunktionen angeboten werden, während eher weniger wichtige Funktionen als Zusatzfunktionen Anwendung finden.

Neuheit im Schwimmsport/Übertragbarkeit auf andere Sportarten

Mithilfe der Head-up Modultechnik können in Zukunft auch Schwimmer und Triathleten ihre aktuelle Leistung mitverfolgen. Das visuelle Feedback unter Wasser ist bis jetzt einzigartig und es ist bisher im Schwimmsport noch keine entsprechende Anwendung vorhanden. Außerdem ermöglicht es die Individualisierung, die mithilfe der Swimming App gewährleistet wird, den unterschiedlichen Bedürfnissen der Sportler gerecht zu werden. Jeder Sportler entscheidet selbst, welche Parameter er im Sichtfeld eingeblendet bekommen möchte und welche nicht.

Sobald die Technik unter Wasser einwandfrei funktioniert, ist der Transfer zu anderen Sportarten möglich. Wintersportarten wie Biathlon oder Eisschnelllauf können von der Technik profitieren. Die Einblendung von Zeiten, Runden und Geschwindigkeiten ist auch dort sinnvoll. Der Motorsport ist ebenfalls ein interessanter Bereich, da die Technik leicht in die Helme integriert werden kann und somit relevante Daten im Sichtfeld eingeblendet werden und der Blick auf die Anzeigen entfällt. Neben den genannten Beispielen sind weitere Anwendungsbereiche möglich und erstrebenswert, um das Training von Athleten nachhaltig zu unterstützen.

Das Swimming-Team

Das Swimming-Team besteht aus drei Studierenden der Technischen Universität München. Während des Qualifizierungsprogramms „Manage&More“ der UnternehmerTUM haben sich Heiko Knörzer, Sabrina Menke und Francisca Nothaft kennengelernt.

gelernt. Dort haben sie die Möglichkeit bekommen, ihre eigene Idee zu verfolgen und umzusetzen. Heiko, selbst Triathlet, studiert Maschinenbau und ist für den Bau der Prototypen zuständig. Die passionierte Motocrossfahrerin Sabrina hat Architektur und Industrial Design studiert und beschäftigt sich mit dem Design der Hard- und Software. Obwohl Francisca aus der Leichtathletik kommt, ist sie mittlerweile begeisterte Schwimmerin. Durch ihr Studium „Wissenschaftliche Grundlagen des Sports“ hat sie den Kontakt zu den Sportlern und ist für das Management zuständig. Neben der Sportaffinität verbindet die drei Studenten der Drang, etwas zu bewegen. Sie wollen nicht nur ihr eigenes Training, sondern auch das Training von möglichst vielen Sportlern revolutionieren und optimal gestalten.



Abb. 3. Francisca Nothaft, Heiko Knörzer und Sabrina Menke (v. l. n. r.)

TEMULAB® – ein mobiles Muskel-Sehnen-Funktionslabor zur Strukturanalyse im Spitzens- und Nachwuchsleistungssport

Wissenschaftliche Hintergründe

Relevanz für die sportliche Leistungsfähigkeit

Die funktionelle Bedeutung der Morphologie eines Muskels ist in der Literatur hinreichend beschrieben (Lieber & Ward, 2011). Die Maximalkraft eines Muskels hängt weitestgehend von der physiologischen Querschnittsfläche ab, wohingegen die maximale Verkürzungsgeschwindigkeit und das aktive Muskelvolumen, um Kräfte zu erzeugen, mit der Faserlänge und der Muskelfasertypzusammensetzung zusammenhängen. Somit geben muskelmorphologische Messgrößen nicht nur Aufschluss über das Kraftpotenzial eines Muskels anhand der Kraft-Längen-Geschwindigkeits-Relation und dessen metabolischen Energieverbrauch, sondern zeigen auch dessen Fähigkeit, mechanische Leistung zu generieren (Produkt von Muskelkraft und Verkürzungsgeschwindigkeit).

Die Fähigkeit der Muskulatur, Kraft und Leistung zu erzeugen, hängt allerdings nicht nur von den Muskeln ab. Auch die Sehnen können das Kraftpotenzial und den Energieverbrauch der Muskulatur und somit die Leistungsfähigkeit des gesamten biologischen Systems beim Ausführen sportlicher Bewegungen verändern. Sehnen wirken wie Federn bzw. Gummibänder, die Energie speichern und wieder abgeben können und somit den Wirkungsgrad der Muskulatur beeinflussen. Wenn der Ausdauerläufer oder Sprinter mit dem Fuß auf den Boden aufsetzt, dehnt sich etwa die Achilles- und Patellasehne wie eine Feder bzw. ein Gummiband und lädt sich mit Energie auf. Beim Abdruck mit dem Fuß vom Boden wird die gespeicherte Energie in den Sehnen wieder freigesetzt und beschleunigt den Körper des Ausdauerläufers bzw. des Sprinters nach vorn. Neben der Fähigkeit, Energie zu speichern, kann die Sehnensteifigkeit die Kraft-Längen-Geschwindigkeits-Relation der Muskulatur und somit das Muskelkraftpotenzial beeinflussen. Mehrere sportwissenschaftliche Studien bestätigen, dass die Sehnensteifigkeit der unteren Extremitäten die Laufökonomie (Arampatzis et al., 2006), die 100-m-Sprintleistung (Stafilidis & Arampatzis, 2007) und die maximale Sprunghöhe beim vertikalen Sprung (Bojsen-Møller, Magnusson, Rasmussen, Kjaer & Aagaard, 2005) signifikant beeinflusst.

Fazit

Funktionell kann die Muskulatur nicht isoliert betrachtet werden, da die mechanischen Eigenschaften der in Serie geschalteten Sehne das Kraftpotenzial und den Wirkungsgrad der Muskulatur beeinflussen. Um Defizite in der Kraftgenerierungs-fähigkeit und um sportliche Leistungsfähigkeit zu diagnostizieren, ergibt sich daher gerade im Leistungssport die Notwendigkeit, neben den Eigenschaften der Musku-

latur auch die mechanischen Eigenschaften der Sehnen individuell zu quantifizieren und zu bewerten.

Klinische Relevanz für den Spitzensport

Klinische Studien lassen die Schlussfolgerung zu, dass repetitive zyklische mechanische Belastungen zu einer Überbelastung der Sehne führen und somit eine der Hauptursachen für die Entstehung von Tendinopathien und Sehnenrupturen sind. Somit zählen Sportarten, die durch repetitive Belastungen charakterisiert sind (wie z. B. Laufsport, Weit- und Hochsprung), zur Hauptrisikogruppe von Tendinopathiebeschwerden. Die Folgen einer Tendinopathie, die zu einer Sehnenruptur führen können, sind Schmerzen und können Athleten zu längeren Trainings- oder Wettkampfpausen zwingen. Auch wenn man vermuten könnte, dass die Achillessehnenruptur durch ein plötzliches Ereignis erfolgt, werden oftmals degenerative Veränderungen bei gerissenen Achillessehnen beobachtet. Dies spricht dafür, dass die Pathologie einer Sehnenruptur meist durch eine Anhäufung von Vorschädigungen charakterisiert ist und durch Überbelastung und durch unzureichende Regenerationsphasen für das Sehnengewebe hervorgerufen wird (dieser Vorgang wird als *Ermüdung der Sehne* bezeichnet). Von vielen Medizinern wird die Ermüdung der Sehne durch anhaltende zyklische Belastungen zunehmend als eine der Hauptursachen für die Entstehung von Tendinopathien und Sehnenrupturen angesehen. Charakteristische Merkmale einer Materialermüdung bei Sehnen sind die Abnahme der Sehnensteifigkeit sowie die Zunahme der Sehnendeformation (bei gegebener Kraft; Wren, Lindsey, Beaupré & Carter, 2003; Nevasier, Andrawis-Puri & Flatow, 2012; Fung et al., 2010). Somit ist die Steifigkeit und Dehnung der Sehne ein geeigneter Parameter, um den Ermüdungszustand einer Sehne zu beschreiben, und kann als Marker zur Früherkennung einer Schädigung bei Sehnen genutzt werden (Wren et al., 2003; Nevasier et al., 2012; Fung et al., 2010). Eine Früherkennung von solchen Sehnenüberlastungsschäden ist sowohl für die Trainingssteuerung als auch für die Entwicklung von effektiven präventiven Strategien von besonderer Bedeutung.

Klinische Relevanz für den Nachwuchsleistungssport

Neben der Veränderung der Eigenschaften der Muskeln und Sehnen durch mechanische Reize kann der biologische Prozess der Reifung und des Wachstums im Kindes- und Jugendalter zu Veränderungen der Muskulatur und der Sehnen führen. Ein Wachstum der knöchernen Strukturen bzw. des Skelettsystems führt unweigerlich auch zu einer Veränderung der Eigenschaften der Muskulatur und der Sehnen. Studien am Tiermodell bestätigen, dass die Sehnensteifigkeit und die Muskelarchitektur während der Wachstumsphase gravierende Veränderungen erfahren (Heslinga, te Kronnie & Huijing, 1995). Solche knochenwachstumsabhängigen Veränderungen der Muskulatur und der Sehnen erfolgen nicht immer koordiniert und kön-

nen im Kindes- und Jugendalter muskuläre Dysbalanzen verursachen und zu Überlastungsschäden an Sehnen und Bändern führen. So zeigen bestimmte Muskeln aufgrund ihrer Architektur bzw. Morphologie stärkere Veränderungen als andere Muskeln während der Reifung und des Knochenwachstums (Heslinga et al., 1995) und beeinflussen somit die intermuskuläre Koordination.

Fazit

Nicht ausreichende Regenerationsphasen und daraus resultierende Überlastungsschäden (Materialermüdung) sind eine der Hauptursachen für die Entstehung von Sehnenrupturen. Ein weiteres Problem sind Dysbalanzen zwischen der Muskulatur und den Sehnen, hervorgerufen durch mechanische Belastung oder auch Wachstum, wie sie des Öfteren bei jugendlichen Leistungssportlern auftreten. Eine regelmäßige Analyse der biomechanischen Eigenschaften der Muskulatur und der Sehnen könnte helfen, muskuläre Dysbalanzen und Überlastungsschäden frühzeitig zu identifizieren und somit das Risiko einer Sehnenruptur bei Nachwuchs- und Spitzensportlern zu reduzieren.

Innovation durch TEMULAB®

Wissens- und Technologietransfer im Leistungssport

Eine *in vivo* (am lebenden Objekt), noninvasive Bestimmung der biomechanischen Eigenschaften von menschlichen Sehnen war bis vor wenigen Jahren nicht durchführbar. Dies ist erst mithilfe der bildgebenden Ultraschallmethode möglich, welche von Mitarbeitern der Sporthochschule Köln in den letzten 12 Jahren in der internationalen Forschung etabliert wurde (Arampatzis, Karamanidis, Morey-Klapsing, De Monte, Staflidis, 2007; Karamanidis & Arampatzis, 2005; Karamanidis, Oberländer, Niehoff, Epro & Brüggemann, 2014; Arampatzis, Karamanidis & Albracht, 2007) und mittlerweile in vielen wissenschaftlichen Einrichtungen Anwendung findet. Für die Achillessehne konnte u. a. gezeigt werden, dass eine Tendinopathie die Sehnensteifigkeit reduziert, wohingegen durch ein spezielles Training (Sehnentraining, Arampatzis, Karamanidis & Albracht, 2007) die Sehne gestärkt werden kann.

Diese bisher sehr zeit- und kostenaufwendige universitäre Untersuchungsmethode wurde nun von der Protendon GmbH & Co. KG weiterentwickelt und für die Anwendung im deutschen Leistungs- und Nachwuchssport optimiert. Unser interdisziplinäres Team hat im Sommer 2014 ein valides, mobiles Muskel-Sehnen-Funktionslabor (TEMULAB®, Abb. 1) entwickelt, mit dem es erstmals möglich ist, effizient und praktikabel die Dehnung und Steifigkeit der Achillessehne bei Sportlern zu ermitteln.

Methodik

Die mechanischen Eigenschaften der Achillessehne werden mithilfe von Ultraschall und der Dynamometrie analysiert. Durch die B-Mode-Ultrasonografie kann die Län-

genänderung der Sehne während einer Muskelkontraktion bestimmt werden. Die Drehmomente und somit die Sehnenkräfte werden durch inverse Dynamik berechnet. Hierzu wird der Einfluss der Co-Aktivität der Antagonisten auf das resultierende Drehmoment mittels Elektromyografie berücksichtigt. Erhebungsparameter sind u. a. das maximale, willkürliche, isometrische Plantarflexionsmoment, die maximale Achillessehnenkraft, die maximale Längenänderung und Dehnung der Sehne sowie die Steifigkeit der Sehne.

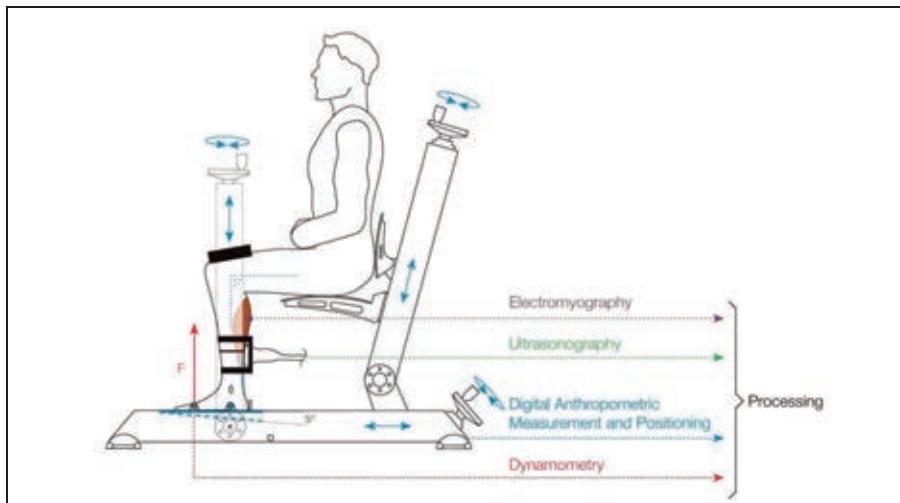


Abb. 1. TEMULAB® kombiniert Elektromyografie (violett), Ultrasonografie (grün), Dynamometrie (rot) sowie digitale Positionierung und Vermessung von anthropometrischen Merkmalen (blau) zur Bestimmung der Dehnung und Widerstandsfähigkeit der Achillessehne

Hardwarelösung

Die Hardwareentwicklung des TEMULAB® unter der Prämisse der Mobilität (Abb. 2) gestaltete sich als besondere Herausforderung. Auf der einen Seite ist ein Höchstmaß an Systemsteifigkeit und Robustheit notwendig, um die hohen zyklischen Kräfte abzufangen, welche in die Messsysteme umgeleitet werden. Demgegenüber steht der Wunsch nach einem niedrigen Gesamtgewicht sowie einer Faltbarkeit des gesamten Systems, um via Fahrzeug oder Flugzeug z. B. Trainingslager oder Kadermeetings erreichen zu können. Realisiert wurde dies durch eine ganzheitliche, hochverschachtelte Gesamtkonstruktion, bei der viele Teile innerhalb des Systems einem Mehrfachnutzen unterliegen. Für diesen Zweck sind für das TEMULAB® über 400 Einzelteile speziell entworfen, konstruiert und gefertigt worden. Weitere 150 Standardteile von mehreren Herstellern kommen zum Einsatz. Für eine exakte individuelle Analyse der Muskel-Sehnen-Eigenschaften ist eine wiederholbare Positionierung des Athleten zwingend erforderlich. Zu diesem Zweck ist das Gerät in drei Freiheitsgraden millimetergenau digital einstellbar. Der Athlet kann somit akkurat

und reliabel im TEMULAB® positioniert werden. Für die notwendigen Berechnungen individueller anthropometrischer Merkmale ist die Erfassung wesentlicher anatomischer Punkte an Fuß, Unter- und Oberschenkel erforderlich. Dies erfolgt durch ein speziell entwickeltes Lasermesssystem, welches in dem Gerät integriert ist.



Abb. 2. Faltbarkeit des gesamten TEMULAB®-Systems. Somit kann via Fahrzeug oder via Flugzeug der Athlet vor Ort am Trainingsplatz, bei einem Kadermeeting oder im Trainingslager erreicht werden und es können Strukturanalysen durchgeführt werden.

Softwarelösung

Die Software übernimmt die Steuerung des kompletten Messablaufs, kommuniziert mit allen Sensoren (z. B. Dehnungsmessstreifen und Ultraschall) und Aktoren (Laser) und ermöglicht eine automatisierte Auswertung der Daten. Der Benutzer als auch der Athlet werden durch ein akustisches und visuelles Feedback geführt. Die Auswertungssoftware ermöglicht, neben der unmittelbaren Bestimmung der aktuellen Kennwerte, auch zeitliche sowie statistische Vergleiche der Kennwerte. Im universitären Bereich dauerte die manuelle Auswertung vergleichbarer Daten 4-6 Tage. Durch die von Protendon® entwickelte Software kann nun die Aufnahme als auch die Auswertung in wenigen Minuten vorgenommen werden. Auswertungen vor und nach Trainingseinheiten sind nun mühelos möglich. Die Benutzerführung ermöglicht es auch Nichtexperten, Messungen durchzuführen und diese mit der Software zu bewerten.

Anwendung von TEMULAB® im Spitzen- und Nachwuchsleistungssport

Das Funktionslabor TEMULAB® wurde im Sommer 2014 fertig gestellt und ist seit August in einem Verbundsystem mit dem Olympiastützpunkt Rheinland, dem TSV Bayer 04 Leverkusen sowie dem Athletiktrainer und Leistungsdiagnostiker Dr. Falk Schade bundesweit im Einsatz. Die Hauptziele dieser Projekte sind, eine umfassende und flächendeckende Strukturanalyse der Achillessehne und der Plantarflexoren im deutschen Spitzen- und Nachwuchsleistungssport durchzuführen und somit wichtige Informationen für die Trainingssteuerung zu gewinnen und zur Früherkennung von Sehnenüberlastungsschäden für Trainer und Athlet zu liefern.

Laufendes Projekt I

Unter der Leitung von Dr. Falk Schade führt der Olympiastützpunkt Rheinland seit August 2014 bundesweit mithilfe von TEMULAB® bei diversen nationalen Lehrgängen von A-, B- und C-Kaderathleten (u. a. Hoch- und Weitsprung, Sprint, Stabhochsprung) regelmäßig Muskel-Sehnen-Analysen durch.

Laufendes Projekt II

Am Messplatz des TSV Bayer 04 Leverkusen werden in Zusammenarbeit mit Dr. Falk Schade und dem deutschen Leichtathletiktrainer Hans-Jörg Thomaskamp alle 2-3 Wochen an ausgewählten Sportlern aus dem Bereich des Hoch-, Weit- und Stabhochsprungs Strukturanalysen am Muskel-Sehnen-Apparat mittels TEMULAB® durchgeführt (Abb. 3).

Weiterhin ist das TEMULAB® zu Muskel-Sehnen-Strukturanalysen bei der deutschen Fußballnationalmannschaft der Frauen bei diversen A-Kader-Lehrgängen im Einsatz und dient primär zur Vorbereitung für die FIFA Frauen-Weltmeisterschaft in Kanada 2015.

Ausblick für das Jahr 2015

Die Anwendung des TEMULAB®-Funktionslabors auf weitere Muskelgruppen (u. a. Patellasehne, Quadrizepsmuskulatur) ist bereits in Planung und wird Ende 2015 im deutschen Spitzen- und Nachwuchsleistungssport mithilfe des Olympiastützpunkts Rheinland und des TSV Bayer 04 Leverkusen Anwendung finden.