

**Zusammenfassung**

In vielen wissenschaftlichen Bereichen schreitet der Wissenszuwachs extrem schnell voran. Dies erfordert aber auch neue Techniken, um aus der Masse an Erkenntnissen relevante Daten zu identifizieren. Wissenschaftliche Evidenz kann dabei helfen, sowohl die therapeutischen Entscheidungsfindungen wie auch die Prävention von Verletzungen zu verbessern und die Rückkehr zur sportlichen Aktivität zu optimieren. Die künstliche Intelligenz (KI) ermöglicht es, diese Prozesse wesentlich zu unterstützen. Da diese neuen Konzepte den wenigsten Orthopäden und Sportmedizinern bekannt sind, werden in diesem Artikel grundlegende Konzepte der KI erläutert, Unterschiede zur klassischen Statistik verdeutlicht und ihre möglichen Anwendungsgebiete in der Sportorthopädie beschrieben.

**Schlüsselwörter**

Künstliche Intelligenz – Maschinelles Lernen – Sportmedizin – Statistik

J. Oronowicz *et al.*

**Possibilities and perspectives for the use of artificial intelligence in orthopaedic sports medicine****Summary**

In many scientific fields, the growth of knowledge is progressing extremely rapidly. However, this also requires new techniques to identify relevant data from the mass of evidence. Scientific evidence can help improve therapeutic decision-making as well as injury prevention and optimize return to sport activity. Artificial intelligence (AI) enables these processes to be significantly assisted. As these new concepts are known to very few

**REVIEW / SPECIAL ISSUE****Möglichkeiten und Perspektiven zum Einsatz der künstlichen Intelligenz in der Sportorthopädie**

*Jakub Oronowicz<sup>a,\*</sup>, Christophe Ley<sup>b</sup>, Milena Pachowsky<sup>a,c</sup>, Romain Seil<sup>d,e</sup>, Thomas Tischer<sup>a,f</sup>*

<sup>a</sup> Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Malteser Waldkrankenhaus, Erlangen, Deutschland

<sup>b</sup> Department of Mathematics, Faculty of Science, Technology and Medicine, University of Luxembourg, Esch-sur-Alzette, Luxembourg

<sup>c</sup> Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

<sup>d</sup> Department of Orthopaedic Surgery, Centre Hospitalier, Luxembourg

<sup>e</sup> Luxembourg Institute of Health, Luxembourg

<sup>f</sup> Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Universitätsmedizin Rostock, Deutschland

Eingegangen/submitted: 30.11.2022; akzeptiert/accepted: 6.12.2022

Online verfügbar seit/Available online: 19 January 2023

**D**as Wissen und die Erfahrung des Arztes ist mit der verfügbaren wissenschaftlichen Evidenz die Basis für die bestmögliche medizinische Behandlung von Patient\*innen und Sportler\*innen. In Anbetracht des ständigen Wissenszuwachses und der Menge an verfügbarem Wissen und Daten wird ein neuartiger Ansatz benötigt, um die weitere Entwicklung der modernen Medizin sicherzustellen. Es stellt sich nicht mehr die Frage, ob „Big Data“ die Medizin verändern werden, sondern ob das ärztliche Umfeld mit all diesen Veränderungen Schritt halten kann und wie die täglichen Arbeitsprozesse davon profitieren können. Ein Lösungsansatz für dieses Problem könnte die künstliche Intelligenz (KI=AI engl. artificial intelligence) und das maschinelles Lernen (ML) darstellen. Die Nutzung von KI und ML in Bezug auf

orthopädische Fragestellungen hat sich in den letzten Jahren intensiviert [19]. Trotz der zunehmenden Zahl von Studien, in denen diese neuen Techniken angewandt werden, sind viele Orthopäden\*innen noch nicht mit den Konzepten vertraut und deswegen auch unsicher, wie man KI in die klinische Praxis einbinden kann bzw. wie die Ergebnisse zu interpretieren sind [9]. Mit diesem Übersichtsartikel möchten wir den in der Orthopädie tätigen Ärzt\*innen einen Einblick in den Bereich der KI geben. Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen klassischen statistischen Methoden und KI werden erklärt und die Möglichkeiten sowie Aussichten für den Einsatz von künstlicher Intelligenz in der (Sport-) Orthopädie aufgezeigt. Ein grundlegendes Verständnis der möglichen Anwendungen von KI kann dazu beitragen, den Leser zu befähigen, Ergebnisse

orthopedic surgeons and sports physicians, this article will explain basic concepts of AI, clarify differences with classical statistics, and describe its potential applications in sports orthopedics.

**Keywords**

Artificial intelligence – Machine learning – Sports medicine – Statistics

neuer Studien besser interpretieren zu können. Obwohl maschinelles Lernen nicht exakt dasselbe ist wie künstliche Intelligenz (maschinelles Lernen ist eine Teilmenge der künstlichen Intelligenz), werden die beiden Begriffe in diesem Artikel synonym verwendet.

### KI vs. klinischer Alltag

Der klinisch tätige Arzt wird täglich mit vielen verschiedenen Fällen konfrontiert, für die multiple Entscheidungen getroffen werden müssen. Jeder Patient/Sportler wird auf der Basis der wahrscheinlichsten Diagnose eingeordnet und erwartet eine angemessene Behandlung und Prognose, einschließlich eines optimalen „return-to-sports“ Protokolls. Medizinische Entscheidungen werden meist auf der Grundlage der verfügbaren Evidenz und der ärztlichen Erfahrung getroffen. Diese Entscheidungen werden durch ein sehr komplexes Entscheidungsmodell („decision-making model“) gefällt. Aber nicht jeder Fall ist gleich. Es gilt eine Vielzahl von Variablen zu berücksichtigen, z. B. Alter, Geschlecht, Umstände des Traumas, Vorverletzungen oder frühere Operationen, Wünsche der Patienten etc. So hat beispielsweise ein 10-jähriger Sportler mit einem gerissenen Kreuzband ein anderes langfristiges Ergebnis zu erwarten als ein 45-jähriger Sportler mit der gleichen Verletzung. Betrachtet man z.B. die Rerupturraten oder das Arthroserisiko innerhalb von 10 Jahren nach der Indexverletzung, müssen für jeden dieser Patienten unterschiedliche Behandlungsoptionen erwogen werden [5]. Leider kann das Fehlen von Evidenz

zu einem Mangel an Sicherheit in unserer Entscheidungsfindung führen [1]. Neben der Auswahl der Therapie sollten insbesondere Sportmediziner sich auch die Frage stellen, ob bestimmte Verletzungen vermieden oder sogar vorhergesagt werden können [19]. Bei der Lösung dieses Problems und der Beantwortung dieser Fragen kann die KI hilfreich sein, die Menge an Einflussfaktoren sicher zu bewältigen. Dennoch sollte die KI den Arzt nicht ersetzen, sondern eine Brücke zwischen Erfahrung, Evidenz und einer ständig wachsenden Datenbank mit zahlreichen Variablen bilden. Das Ziel der KI ist es, die Versorgung von Patienten und Sportlern zu verbessern.

### Was ist KI/ML

Der ML-Algorithmus kann verschiedene Probleme angehen, indem er aus den verfügbaren Daten lernt [13]. Der Algorithmus ist, je nach Anwendungsziel, einem Regressions- oder Klassifikationsmodell sehr ähnlich, kann aber auf eine viel größere Anzahl von Variablen in einer Datenbank angewendet werden.

Die häufigste Art von ML, die für Orthopäden von Bedeutung ist, wird als „überwachtes Lernen“ („supervised learning“) bezeichnet. Diese Methode bezieht sich auf Algorithmen, die das Verhältnis zwischen „Input“- und „Output“-Variablen analysieren, mit dem Ziel zu lernen, wie man einen bestimmten „Output“ angesichts einer Reihe von „Input“-Variablen vorhersagen kann. Die „Input“-Variablen werden auch als „Prädiktoren“ bezeichnet und bestehen aus allen Variablen in

einem Datensatz, die ein Ergebnis beeinflussen oder mit ihm in Zusammenhang stehen können. Beispielsweise umfassen in einem nationalen Register für Kniebandverletzungen die „Input“-Variablen die demografischen, Verletzungs- und OP- Details des Patienten. Im Gegensatz dazu beziehen sich die „Output“-Variablen auf das Ergebnis und beinhalten deswegen z. B. Revisionsoperationen, subjektive Ergebnisse oder andere spezifizierte Endpunkte (Infektion, Komplikation, Aufenthaltsdauer, Morbidität, Mortalität usw.). Jeder Patient im Register hat also eine einzigartige Kombination von „Input“- und „Output“-Variablen. Der Kerngedanke ist, dass ein ML-Algorithmus bei einem ausreichend großen Datensatz (große Anzahl von Patienten mit jeweils einer vgroßen Anzahl von Variablen) feststellen kann, welche Variablenkombinationen zu den einzelnen Ergebnissen führen.

### ... wie funktioniert das

Beim überwachten Lernen wird der gesamte Datensatz (einschließlich „Input“ und „Output“) zunächst in eine „Trainings-“ und eine „Testgruppe“ unterteilt. Ein typisches Verfahren wäre,  $\approx 75\%$  der Daten nach dem Zufallsprinzip der „Trainingsgruppe“ zuzuordnen, während die restlichen Daten ( $\approx 25\%$ ) die „Testgruppe“ bilden. Die ML-Systeme lernen aus den „Trainingsdaten“ und entwickeln dabei einen Algorithmus, der das „Output“ anhand des „Inputs“ vorhersagen kann. Die Genauigkeit dieses Algorithmus kann mit Hilfe des „Testsatzes“ bewertet werden. Die Daten werden in diese zwei

Gruppen aufgeteilt, um eine ordnungsgemäße Validierung des Algorithmus sicherzustellen – die „Testgruppe“ sollte keine Daten enthalten, die zur Entwicklung des Algorithmus im „Trainingsset“ verwendet wurden. Dieser Ansatz wird als überwachtes Lernen bezeichnet, weil das gewünschte Ergebnis („Output“) a priori bestimmt wird und der Computer soll sein Vorkommen vorhersagen. Das Ziel des überwachten Lernens ist es, den Algorithmus zur Vorhersage des Ergebnisses von neuen/zukünftigen Daten zu verwenden.

Zu den anderen ML-Methoden gehören unüberwachtes Lernen („unsupervised learning“) und Verstärkungslernen („reinforcement learning“). Beim unüberwachten Lernen werden die Daten nicht als „Input“- oder „Output“-Variablen festgelegt. Stattdessen hat die KI die Aufgabe, selbstständig eine Struktur und mögliche Verhältnisse im gesamten Datensatz zu finden. Verstärkungslernen bezieht sich auf ein Trial-and-Error-Verfahren, bei dem der Algorithmus im Laufe der Zeit durch ständiges Ausprobieren verschiedener Assoziationen die Erfahrung und das Wissen gewinnt. Sobald das ML-Modell genügend Patientendaten erfasst hat und deren einzigartige Merkmale mit dem gewünschten Ergebnis verbinden kann (Trainingsphase), kann der Algorithmus bei neuen Patienten eingesetzt werden um anhand seiner Erfahrungen das mögliche Ergebnis vorherzusagen. Außerdem können ML-Modelle aus ihren Fehlern oder Fehlklassifikationen lernen, was im Laufe der Zeit zu einer Verbesserung der Genauigkeit führen kann. Da die vordefinierten Datenbanken ständig größer

werden und das ML mit jeder neu hinzugefügten Variable verbessert werden kann, wird die KI als ein menschliches Intelligenzmodell betrachtet, das eine Korrelation zwischen Prädiktoren und Ergebnissen in einem möglicherweise großen Datensatz findet. Diese Eigenschaft kann mit dem ständigen Lernprozess eines Arztes verglichen werden, der permanent aus seinen Erfahrungen und Fehlern lernt.

### Unterschied zur klassischen Statistik

Die steigende Zahl an orthopädischer Literatur, die das ML einbezieht, wirft folgende Frage auf: Worin besteht der Unterschied zwischen herkömmlichen statistischen Verfahren wie der linearen oder logistischen Regression und dem ML? Auch die klassische Statistik kann ein Verhältnis zwischen „Input“- und „Output“-Variablen feststellen und wird seit langer Zeit für Regressions- und Klassifizierungsaufgaben verwendet. Ähnlich wie bei prädiktiven ML-Methoden kann das klassische statistische Verfahren, sobald es einen Link zwischen „Input“ und „Output“ anhand alter Daten ermittelt hat, auch auf neue Daten angewendet werden. Manche argumentieren sogar, dass sowohl die lineare als auch die logistische Regression selbst maschinelle Lernverfahren sind. Zwischen dem klassischen statistischen Lernen und dem maschinellen Lernen müssen jedoch einige wichtige Unterschiede hervorgehoben werden.

Bei klassischen statistischen Methoden handelt es sich in der Regel um sogenanntes Top-Down-

**Vorgehen:** Man geht davon aus, dass man das Verfahren, aus dem die Daten generiert wurden, kennt und entsprechend können die unbekannten Parameter dieses Modells anhand der Daten geschätzt werden. Mit anderen Worten: Es wird davon ausgegangen, dass es bekannt ist, in welchem Verhältnis die „Input“-variablen zum „Output“ stehen, was die Interpretation der Ergebnisse einfach und das Verhältnis zwischen den Variablen verständlich macht. Der potenzielle Fallstrick besteht darin, dass dieses Verhältnis zwischen „Input“ und „Output“ vom Benutzer definiert wird und deswegen zu einem suboptimalen (d. h. weniger genauen) Vorhersagemodell führen kann. Dies kann z. B. der Fall sein, wenn ein Benutzer eine lineare Regression anwendet, während das Datenverhältnis nicht linear ist. Zudem ist dieses Verfahren in seiner Komplexität limitiert.

Bei den ML-Methoden handelt es sich dagegen um ein Bottom-up-Vorgehen. Es wird kein bestimmtes Modell vorausgesetzt, sondern es wird anhand der vorhandenen Daten durch einen Algorithmus entwickelt. Im Vergleich zu den klassischen statistischen Methoden können ML-Algorithmen eine größere Anzahl von Variablen verarbeiten, erfordern aber auch gleichzeitig eine größere Stichprobe. Mit anderen Worten: Das ML ist in der Lage, komplexe Korrelationen in großen Datenbanken zu verarbeiten, benötigt aber dafür eine größere Anzahl von „Input-Output“-Paaren, um daraus zu lernen.

Ein aktuelles Beispiel aus der Orthopädie zeigt, wie das ML in einer komplexen Datenbank des „Norwegian Knee Ligament Register“ (NCLR)

mit vielen Variablen umgehen kann [10]. Hier wurden insgesamt 24 „Input“-Variablen als „Prädiktoren“ klassifiziert. Das gewünschte Ergebnis war eine Revision nach einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (VKB). Zunächst analysierte das Modell den Zusammenhang zwischen dem „Input“ und dem tatsächlichen Ergebnis für ca. 18.000 Patienten (75 %). Dieses Modell entwickelte einen Algorithmus zur Vorhersage von Revisionsoperationen. Die Genauigkeit des Algorithmus wurde an den verbleibenden ca. 6000 Patienten (25 %) getestet. Durch eine Merkmalsauswahl-Technik („feature selection“) wurde die große Anzahl der ursprünglich in das Modell aufgenommenen Variablen (24) auf die für die Vorhersage erforderliche Mindestanzahl reduziert, ohne die Genauigkeit zu beeinträchtigen. Hieraus ergab sich ein Algorithmus, der eine Revisionsvorhersage bei der Eingabe von nur fünf Variablen (Wahl des Transplantates, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Quality of Life – KOOS QoL – zum Zeitpunkt des chirurgischen Eingriffs, Zeitabstand zwischen der Verletzung und dem chirurgischen Eingriff, Patientenalter zum Zeitpunkt des chirurgischen Eingriffs, femorales Transplantat-Fixierungssystem) ermöglichte. Diese Fähigkeit, die komplexen Verhältnisse zwischen allen Variablen zu erkennen und gleichzeitig diejenigen zu eliminieren, die nur einen minimalen Beitrag zur Ergebnisvorhersage leisten oder sie gar verschlechtern, ist ein Markenzeichen der ML-Techniken.

Beide Methoden haben ihre Vor- und Nachteile. Bei der klassischen Statistik besteht das Risiko, dass das falsche Modell auf den

gegebenen Datensatz angewendet wird, was die Genauigkeit erheblich einschränken kann. Dabei ist aber die Rate der Fehlinterpretation der Ergebnisse gering. Im Vergleich dazu kann das ML viel größere Datensätze mit höherer Genauigkeit verarbeiten, benötigt aber eine größere Anzahl von Variablen. Gleichzeitig kann das Erreichen der bestmöglichen Effizienz zu einer Verzerrung des Verständnisses des „modus operandi“ dieser Algorithmen führen [6].

## Einsatz der künstlichen Intelligenz in der Sportorthopädie – Prävention

Ein wichtiges Ziel in der Betreuung vor Sportlern ist die Prävention von Verletzungen. Dies steht aber teilweise in einem vermeintlichen Widerspruch zu der Trainings- und Wettkampf-Realität der Athleten, da im Profisport, obwohl wahrscheinlich bereits auf einem höchstmöglichen Niveau angelangt, immer noch weitere Verbesserungen und Rekorde angestrebt werden. Die KI begleitet die Athleten und ihr medizinisches Team bei vielen Schritten auf ihrem Karriereweg. Ganz gleich, ob es sich um Trainingsoptimierung, Verletzungsprävention, eine Behandlung oder gar das Marketing handelt, die KI kann in jedem dieser Bereiche eingesetzt werden. Mit Hilfe des MLs kann zum Beispiel das Training im Allgemeinen überwacht werden (die körperliche Verfassung des Sportlers oder die Bewertung des Gesundheitszustands) oder nur einige Details wie kinematische Unterschiede zwischen dem dominanten und dem nicht-dominanten

Bein bei Fußballspielern analysiert werden [18,12]. Prävention sollte eine wichtige Rolle in der medizinischen Betreuung der Athleten einnehmen, da allzu oft der Drang nach Leistungssteigerung und der Druck von Trainern, Sponsoren etc. die Gesundheit der Sportler in den Hintergrund treten lässt. Die Rolle der Sportorthopäden beginnt genau hier: noch vor dem Auftreten von Verletzungen. Es sollte mehr ins Bewusstsein gerückt werden, dass eine Vorbeugung von Verletzungen – Prävention – viel wichtiger ist als eine nachfolgende Behandlung [8]. Hier können die mit dem ML trainierten Algorithmen einen wichtigen Baustein bilden, um neueste Erkenntnisse in die Betreuungsrealität zu implementieren. Van Eetvelde et al. konnten zeigen, dass die ML-Methoden erfolgreich für die Vorhersage von Sportverletzungen eingesetzt werden können [19]. Vielversprechende Ergebnisse zur Vorhersage des Verletzungsrisikos wurden bei jugendlichen Elite-Fußballspielern auf der Grundlage von anthropometrischen, motorischen Koordinations- und körperlichen Leistungsmessungen mit einer hohen Genauigkeit von 85 % [16], und im Profifußball auf der Grundlage einer Screening-Bewertung vor der Saison mit einer hohen Sensitivität (77,8 %) und Spezifität (83,8 %) [2], erzielt. Die einbezogenen Daten waren zwar begrenzt, aber die erreichte Vorhersagekraft war enorm hoch. Die Verletzungsvorhersage könnte in Zukunft durch den Einsatz des maschinellen Lernens und durch die Einbeziehung weiterer Daten (z. B. durch die Verwendung von Sensoren, intensiver Überwachung von

Sportlern) noch verbessert werden [20].

### Weitere Beispiele aus der Sportorthopädie

Kann ML auch eingesetzt werden, wenn die Prävention versagt? Tritt eine Verletzung auf, brauchen wir ein möglichst genaues Verfahren, um die richtige Diagnose zu erstellen und damit die beste Behandlung zu planen. Mit Hilfe der neuronalen Netzwerke („neural networks“) können zum Beispiel verschiedene Meniskusläsionen effektiv identifiziert werden [7]. Der Genauigkeitsgrad der ML-trainierten Algorithmen in der orthopädischen Bildgebung ist den Fähigkeiten der Ärzte sehr ähnlich [21].

Nachdem die Verletzung diagnostiziert wurde, ist die optimale Behandlung der nächste Schritt. Das ML ist nicht nur bei der Wahl der optimalen Therapie nützlich, sondern auch bei deren detaillierter Planung. Da der Profisport mit Gelenkprothesen auch auf höchstem Niveau an Bedeutung zunimmt, könnte die KI zu einer erheblichen Verbesserung der präzisen Vorbereitung und Durchführung einer solchen Operation führen, was die Nachbehandlungsstrategie optimieren könnte [11,17].

Der „Return-to-sports“-Prozess muss mindestens so akkurat begleitet werden wie der Weg zu Diagnose und Therapie. Um dies zu erreichen, ist es wichtig, eine möglichst präzise Aussage über das zu erwartende Ergebnis treffen zu können. Diese ML-Anwendung wurde bereits in der klinischen Ergebnisvorhersage nach der osteochondralen Allograft-

Transplantation bei Knorpeldefekten im Knie präsentiert [15].

### Ausblick auf die Zukunft. Brauchen wir wirklich die KI? Ist sie eine echte Chance oder doch eine Bedrohung?

Es ist eine Tatsache, dass KI bereits heute einen nicht unerheblichen Einfluss auf unseren Alltag nimmt. Gleichwohl sind nicht nur positive Effekte dieser Technologie für unser Leben und unsere Umwelt zu erwarten. Daher muss bei jedem möglichen Einsatz von ML/KI deren Nutzen und Bedrohungen sorgfältig überprüft werden. Bei der notwendigen kritischen Betrachtung und entsprechenden Grundkenntnissen der KI kann sie unbekannte Vorteile bieten. Aus diesem Grund ist es für die (Sport-) Mediziner\*innen unerlässlich, die ML-Anwendungsmöglichkeiten und deren Vorteile von Beginn an zu verstehen. Der wichtigste Aspekt des MLs ist die Fähigkeit, die Variablen in einer großen Datenbank zu analysieren und zu verknüpfen [13]. Für die Entwicklung der verschiedenen medizinischen Fachgebiete ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Endanwender in der Lage sind, aus der Masse an neuem Wissen relevante medizinische Erkenntnisse zu identifizieren, um diese dann in den klinischen Alltag zu übertragen. Im Idealfall kann der Einsatz von KI/ML die Präzision der Vorhersage und Vorbeugung von Verletzungen, ihren Diagnoseprozess und ihre optimale Behandlung, die Ergebnisvorhersage und die Prozesse, die die Rückkehr zum Sport bestimmen, verbessern. Allerdings

sind der KI, wie bei jeder anderen Technologie auch, Grenzen gesetzt, wobei der begrenzte Datenzugang, die hohen Kosten oder die möglichen (Fehl-)Interpretationen nur einige davon sind [14]. Da KI/ML Algorithmen nicht alle fehlerhaften Korrelationen erkennen können, hängt ihr Ergebnis neben der klinischen Fragestellung stark von der Menge und vor allem der Qualität der Daten ab. Daher ist die Überwachung und kritische Hinterfragung dieser datenbestimmten Algorithmen durch Menschen nach wie vor notwendig und unvermeidlich. Die derzeitige Forschung befasst sich hauptsächlich mit den Aspekten der Prävention und des Diagnoseprozesses, während sich künftige Studien mehr auf die optimalen Behandlungsoptionen, das intraoperative Risiko oder postoperative Ergebnisse und Komplikationen konzentrieren sollten [3].

Der stetig wachsende Einfluss der KI auf unser Fachgebiet wird nicht mehr aufhören und deshalb liegt es an uns, ob und wie wir ihre Einsatzmöglichkeiten nutzen. Dies darf aber nicht ohne das Einbeziehen und die Aufklärung unserer Patienten und Sportler erfolgen [22].

Schließlich darf nicht vergessen werden, dass das Hauptziel der KI nicht darin besteht, den Arzt zu ersetzen, sondern ihn zu unterstützen, weil die „Intelligenz“ eine im Wesentlichen menschliche Eigenschaft bleibt [4].

## Fazit

- Eine kontinuierliche Weiterentwicklung in allen medizinischen Bereichen, inkl. Sportorthopädie,

ist unerlässlich, um Patienten/Sportlern die bestmögliche medizinische Versorgung zu bieten.

- Die stetige Datenzunahme („Big Data“) setzt voraus, dass relevante medizinische Erkenntnisse identifiziert werden müssen, um neues Wissen in den klinischen Alltag zu übertragen.
- Um das medizinische Handeln bei gleichzeitiger massiver Zunahme der wissenschaftlichen Erkenntnisse zu verbessern, werden neue Techniken benötigt, wie z.B. KI/ML.
- Die KI kann die Athleten und ihr medizinisches Team bei vielen Schritten auf ihrem Karriereweg begleiten und in vielen Bereichen wie z. B. Verletzungsprävention, Trainingsoptimierung, Diagnostik, Behandlung oder Rückkehr zum Sport eingesetzt werden.
- Neben den Chancen, die die KI bietet, hat sie auch Grenzen und Risiken (z. B. begrenzter Datenzugang, hohe Kosten, ständige Überwachung der Algorithmen und ihre kritische Hinterfragung).

## Interessenkonflikt

Keiner der Autoren berichtet über einen Interessenkonflikt

## Literatur

- [1] C.L. Ardern, G.R. Ekas, H. Grindem, H. Moksnes, A.F. Anderson, F. Chotel, M. Cohen, M. Forssblad, T.J. Ganley, J.A. Feller, J. Karlsson, M.S. Kocher, R.F. Laprade, M. McNamee, B. Mandelbaum, L. Micheli, N. Mohtadi, B. Reider, J. Roe, R. Seil, R. Siebold, H.J. Silvers-Granelli, T. Soligard, E. Witvrouw, L. Engebretsen, International Olympic Committee consensus statement on prevention, diagnosis and management of paediatric anterior cruciate ligament (ACL) injuries, *Br J Sports Med* 52 (2018) 422–438.
- [2] F. Ayala, A. Lopez-Valenciano, J.A. Gamez Martin, M. De Ste Croix, F.J. Vera-Garcia, M.D.P. Garcia-Vaquero, I. Ruiz-Perez, G.D. Myer, A Preventive Model for Hamstring Injuries in Professional Soccer: Learning Algorithms, *Int J Sports Med* 40 (2019) 344–353.
- [3] C. Feng, X. Zhou, H. Wang, Y. He, Z. Li, C. Tu, Research hotspots and emerging trends of deep learning applications in orthopedics: A bibliometric and visualized study, *Front Public Health* 10 (2022) 949366.
- [4] N. Hainc, C. Federau, B. Stieltjes, M. Blatow, A. Bink, C. Stippich, The Bright, Artificial Intelligence-Augmented Future of Neuroimaging Reading, *Front Neurol* 8 (2017) 489.
- [5] V.L. Johnson, J.P. Roe, L.J. Salmon, L.A. Pinczewski, D.J. Hunter, Does Age Influence the Risk of Incident Knee Osteoarthritis After a Traumatic Anterior Cruciate Ligament Injury?, *Am J Sports Med* 44 (2016) 2399–2405
- [6] C. Ley, R.K. Martin, A. Pareek, A. Groll, R. Seil, T. Tischer, Machine learning and conventional statistics: making sense of the differences, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 30 (2022) 753–757.
- [7] J. Li, K. Qian, J. Liu, Z. Huang, Y. Zhang, G. Zhao, H. Wang, M. Li, X. Liang, F. Zhou, X. Yu, L. Li, X. Wang, X. Yang, Q. Jiang, Identification and diagnosis of meniscus tear by magnetic resonance imaging using a deep learning model, *J Orthop Translat* 34 (2022) 91–101.
- [8] Lutter C, Tischer T, Seil R. *Importance of Sports Injury Prevention*, esska.org, 2021.
- [9] R.K. Martin, C. Ley, A. Pareek, A. Groll, T. Tischer, R. Seil, Artificial intelligence and machine learning:

- an introduction for orthopaedic surgeons, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 30 (2022) 361–364.
- [10] R.K. Martin, S. Wastvedt, A. Pareek, A. Persson, H. Visnes, A.M. Fenstad, G. Moatshe, J. Wolfson, L. Engebretsen, Predicting Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Revision: A Machine Learning Analysis Utilizing the Norwegian Knee Ligament Register, *J Bone Joint Surg Am* 104 (2022) 145–153.
- [11] K.W. Morse, A. Premkumar, A. Zhu, R. Morgenstern, E.P. Su, Return to Sport After Hip Resurfacing Arthroplasty, *Orthop J Sports Med* 9 (2021), 23259671211003521.
- [12] Y. Nakahira, S. Taketomi, K. Kawaguchi, Y. Mizutani, M. Hasegawa, C. Ito, E. Uchiyama, Y. Ikegami, S. Fujiwara, K. Yamamoto, Y. Nakamura, S. Tanaka, T. Ogata, Kinematic Differences Between the Dominant and Nondominant Legs During a Single-Leg Drop Vertical Jump in Female Soccer Players, *Am J Sports Med* 50 (2022) 2817–2823.
- [13] Z. Obermeyer, E.J. Emanuel, Predicting the Future - Big Data, Machine Learning, and Clinical Medicine, *N Engl J Med* 375 (2016) 1216–1219.
- [14] S.P. Phillips, S. Spithoff, A. Simpson, Artificial intelligence and predictive algorithms in medicine: Promise and problems, *Can Fam Physician* 68 (2022) 570–572.
- [15] P.N. Ramkumar, J.M. Karnuta, H.S. Haeberle, S.A. Rodeo, B.U. Nwachukwu, R.J. Williams 3rd, *Effect of Preoperative Imaging and Patient Factors on Clinically Meaningful Outcomes and Quality of Life After Osteochondral Allograft Transplantation: A Machine Learning Analysis of Cartilage Defects of the Knee*, *Am J Sports Med* 49 (2021) 2177–2186.
- [16] N. Rommers, R. Rossler, E. Verhagen, F. Vandecasteele, S. Verstockt, R. Vaeyens, M. Lenoir, E. D'Hondt, E. Witvrouw, A Machine Learning Approach to Assess Injury Risk in Elite Youth Football Players, *Med Sci Sports Exerc* 52 (2020) 1745–1751.
- [17] G.M. Schwarz, S. Simon, J.A. Mitterer, B.J.H. Frank, A. Aichmair, M. Dominkus, J.G. Hofstaetter, Artificial intelligence enables reliable and standardized measurements of implant alignment in long leg radiographs with total knee arthroplasties, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 30 (2022) 2538–2547.
- [18] Y. Tong, Assessment of Physical Fitness and Health Status of Athletes Based on Intelligent Medical Treatment under Machine Learning, *Comput Intell Neurosci* 2022 (2022) 9687496.
- [19] H. Van Eetvelde, L.D. Mendonca, C. Ley, R. Seil, T. Tischer, Machine learning methods in sport injury prediction and prevention: a systematic review, *J Exp Orthop* 8 (2021) 27.
- [20] E. Verhagen, C. Bolling, Protecting the health of the athlete: how online technology may aid our common goal to prevent injury and illness in sport, *Br J Sports Med* 49 (2015) 1174–1178.
- [21] Y. Yamada, S. Maki, S. Kishida, H. Nagai, J. Arima, N. Yamakawa, Y. Iijima, Y. Shiko, Y. Kawasaki, T. Kotani, Y. Shiga, K. Inage, S. Orita, Y. Eguchi, H. Takahashi, T. Yamashita, S. Minami, S. Ohtori, Automated classification of hip fractures using deep convolutional neural networks with orthopedic surgeon-level accuracy: ensemble decision-making with antero-posterior and lateral radiographs, *Acta Orthop* 91 (2020) 699–704.
- [22] Y. Zhou, Y. Shi, W. Lu, F. Wan, Did Artificial Intelligence Invade Humans? The Study on the Mechanism of Patients' Willingness to Accept Artificial Intelligence Medical Care: From the Perspective of Intergroup Threat Theory, *Front Psychol* 13 (2022) 866124.

**Korrespondenzadresse:**

Jakub Oronowicz,  
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,  
Malteser Waldkrankenhaus,  
Rathsberger Str. 57, 91054 Erlangen,  
Deutschland.  
E-Mail:  
jakub.oronowicz@waldkrankenhaus.de

Available online at: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)**ScienceDirect**