

Theoretische Untersuchungen zu einer neuartigen Handorthese

Theoretical studies on a new type of dynamic hand orthosis

Leon Schaeffer, OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau, 93053 Regensburg, leon.schaeffer@oth-regensburg.de
David Herrmann, OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau, 93053 Regensburg, david.herrmann@st.oth-regensburg.de
Theresa Schmausser, OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau, 93053 Regensburg, thesa.schmausser@st.oth-regensburg.de
Melanie Liebrecht, OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau, 93053 Regensburg, melanie.liebrecht@st.oth-regensburg.de
Felix Rambach, OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau, 93053 Regensburg, felix.rambach@st.oth-regensburg.de
Valter Böhm, OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau, 93053 Regensburg, valter.boehm@oth-regensburg.de

Kurzfassung

Die menschliche Hand zeigt ein bemerkenswertes Maß an Beweglichkeit und Anpassungsfähigkeit, die ihrer komplexen und feinen anatomischen Struktur zugeschrieben wird. Sie besteht aus einer komplexen Anordnung von Knochen, Gelenken, Sehnen und Bändern in einem begrenzten Raum, was zu erheblichen Belastungen während täglicher Aktivitäten führt. Etwa ein Fünftel aller Notfälle beinhaltet Verletzungen an Hand, Fingern und Handgelenken. Die vorherrschenden Arten von Verletzungen umfassen Schnittverletzungen (38,1% - 45%), Frakturen (19,3% - 42%), Verletzungen des Weichgewebes (28,7% - 33,3%) und Verstauchungen (8% - 20%) [1–8].

Die Behandlung dieser verschiedenen Handverletzungen umfasst die Verwendung von nicht beweglichen (statischen) Handorthesen und beweglichen (dynamischen) Handorthesen. Eine frühzeitige Bewegungstherapie spielt eine zentrale Rolle bei der Erleichterung einer raschen und vollumfänglich Heilung. Ihre Wirksamkeit wird erhöht, wenn sie mit dem frühzeitigen Einsatz von Orthesen kombiniert wird, insbesondere von dynamischen Orthesen, die bewegungsorientierte Ansätze unterstützen und den Heilungsprozess beschleunigen. Ein optimaler Nutzen wird erreicht, wenn die Orthese so früh wie möglich getragen wird.

Derzeitige dynamischen Handorthesen können jedoch die natürliche Bewegung des Handgelenks aufgrund ihrer begrenzten Bewegungsmöglichkeit oft nur bedingt nachbilden, wie beispielsweise nur Beugung/Streckung [9–11] oder nur Pronation/Supination [12–14], was ihre Praktikabilität im täglichen Gebrauch einschränkt. Orthesen, die Bewegungsmöglichkeiten in mehreren Richtungen erlauben, sind entweder sperrig oder erfordern zusätzliche externe Antriebe und Ausrüstung, die der Patient tragen muss [15–17]. In [18] wird eine potenzielle leichte, anpassungsfähige Orthese mit drei Bewegungsmöglichkeiten unter Verwendung eines nachgiebigen Mechanismus gezeigt. Für die Anwendung sind weiterhin extern angebrachte Motoren erforderlich, was die Benutzerfreundlichkeit einschränkt. Dieses Problem wurde bei mehreren Orthesen identifiziert, die zwei oder mehr Bewegungsmöglichkeiten ermöglichen, wie in [19–21].

Daher lässt sich eine Notwendigkeit für die Entwicklung von Orthesen ableiten, die diese Herausforderungen bewältigen können: individuelle Patientenbedürfnisse, Benutzerfreundlichkeit, Passform, Steifigkeit und multiaxiale Gelenkbeweglichkeit. Diese Orthesen sollten sich durch ein flaches Design und die Fähigkeit auszeichnen, zwei oder mehr Bewegungsmöglichkeiten zu ermöglichen und dabei unabhängig von extern angelegten Antriebseinheiten funktionieren. Die Anwendung mechanisch vorgespannter nachgiebiger Strukturen im biomedizinischen Kontext bietet vielversprechende innovative Aussichten. In [22] wird ein Handgelenk für Roboter und Prothesen auf Basis dieser Strukturen vorgestellt, die die Möglichkeiten dieser Strukturen zeigt. Daraus ableitend soll in diesem Beitrag die Verwendung dieser Strukturen als Basis für dynamische Handorthesen untersucht werden.

Zu diesem Zweck wird in diesem Beitrag ein dreidimensionales nachgiebiges Tensegrity-Gelenk betrachtet, das in früheren Arbeiten [23–25] in einer zweidimensionalen Form vorgestellt wurde. Das Gelenk besteht aus zwei starren, auf Druck beanspruchten Segmenten, die durch fünf nachgiebige, auf Zug beanspruchte Segmente verbunden sind, die typischerweise durch Federn mit konstanter Steifigkeit [26–28] realisiert werden, während alternative Ansätze mit Elastomeren in [29] and [30] diskutiert werden. Durch eine sorgfältige Auswahl der Parameter, einschließlich der Steifigkeit der Segmente und der anfänglichen Länge der ungespannten Segmente, lässt sich der Bewegungsumfang an die spezifischen therapeutischen Anforderungen anpassen, wobei die anatomischen Eigenschaften der Hand und die Steifigkeit der Gesamtstruktur berücksichtigt werden. Die definierte richtungsabhängige Steifigkeit der Orthese erlaubt die Definition des möglichen Bewegungsbereiches des Handgelenkes. Darüber hinaus kann die Orthese so angepasst werden, dass Bewegungen in definierten Richtungen verhindert und so das Handgelenk richtungsabhängig ruhiggestellt werden.

Theoretische Untersuchungen, die ein Verständnis der komplexen Wirkzusammenhänge dieser vorgespannten, nachgiebigen dynamischen Handorthesen erlauben, bilden die Grundlage in der Entwicklung individueller dynamischer Handorthesen, die an die anatomischen Gegebenheiten und therapeutischen Bedürfnisse der einzelnen Patienten angepasst werden können.

In diesem Beitrag werden ausgewählte Untersuchungen zur Anwendbarkeit von nachgiebigen Tensegrity-Strukturen, im Zusammenhang mit dynamischen Handorthesen auf Basis der zuvor beschriebenen Struktur, vorgestellt. Der erste Schritt bei der Entwicklung dieser Systeme ist die Bestimmung der Gleichgewichtslage des Systems ohne äußere Lasten. Die



Herausforderung liegt hier in der Vorhersage des komplexen Strukturverhaltens, resultierend aus der Vorspannung der einzelnen Segmente. Dieser Prozess wird als Formfindung bezeichnet [31]. Die Gleichgewichtslage der dynamischen Orthese wird durch einen Formfindungsalgorithmus auf Basis der geometrisch nicht linearen statischen Finiten Element Methode (FEM) bestimmt. Der Formfindungsalgorithmus basiert auf dem von [32] vorgestellten Ansatz, der eine modifizierte Version der von [33] vorgestellten Methode ist und ist in Matlab® implementiert.

In der hier vorgestellten Untersuchung wird ein dreidimensionales mechanisches Modell der Orthese unter Einbeziehung der Handgelenksregion hinsichtlich der Formfindung als Erweiterung der bisherigen elementaren zweidimensionalen Betrachtungen in [23–25] herangezogen. Ziel der Untersuchung ist es, aufgrund der Vielzahl der möglichen Einflussparameter, ein detailliertes Verständnis für das Verhalten der Struktur im dreidimensionalen Raum zu bekommen, wenn diese Parameter verändert werden. Weiterhin werden die Steifigkeit und die resultierende Kraft im Handgelenk unter dem Einfluss verschiedener Orthesenparameter sowie anatomischen Gegebenheiten charakterisiert. Diese weitere Untersuchung, die sogenannte Eigenschaftsanalyse (Bewertung des gesamten statisch-mechanisches Verhalten) baut auf der Formfindung auf. Zusätzlich sollen auch externe, die Bewegung der Hand auslösende, Kräfte mit einbezogen werden.

In künftigen Arbeiten, die auf den grundlegenden Untersuchungen dieses Beitrags aufbauen, werden weitere theoretische Untersuchungen zum Verhalten der Struktur auch unter Berücksichtigung dynamischer Lasten durchgeführt. Die Handanatomie wird mit einem erweiterten detaillierteren Modell berücksichtigt. Die theoretischen Ergebnisse werden mit Experimenten an einem ersten Demonstrator verifiziert. Diese Untersuchungen bilden die Basis für die Vision, dynamische Handorthesen anhand realer anatomischer Gegebenheiten von individuellen Patienten bereitzustellen. Hierzu wird langfristig eine Methodik für die individuelle Anpassung und Herstellung der Orthesen entwickelt.

Literatur

- [1] Nieminen, S., Nurmi, M. & Isberg, U. Hand injuries in Finland. *Scandinavian Journal Of Plastic And Reconstructive Surgery*. 15, 57-60 (1981)
- [2] Smith, M., Auchincloss, J. & Ali, M. Causes and consequences of hand injury. *Journal Of Hand Surgery*. 10, 288-292 (1985)
- [3] Angermann, P. & Lohmann, M. Injuries to the Hand and Wrist. A Study of 50,272 Injuries. *Journal Of Hand Surgery*. 18, 642-644 (1993)
- [4] Bhende, M., Dandrea, L. & Davis, H. Hand injuries in children presenting to a pediatric emergency department. *Annals Of Emergency Medicine*. 22, 1519-1523 (1993)
- [5] Vadivelu, R., Dias, J., Burke, F. & Stanton, J. Hand injuries in children: a prospective study. *Journal Of Pediatric Orthopaedics*. 26, 29-35 (2006)
- [6] Trybus, M., Lorkowski, J., Brongel, L. & Hladki, W. Causes and consequences of hand injuries. *The American Journal Of Surgery*. 192, 52-57 (2006)
- [7] Dias, J. & Garcia-Elias, M. Hand injury costs. *Injury*. 37, 1071-1077 (2006)
- [8] Robinson, L., Sarkies, M., Brown, T. & O'Brien, L. Direct, indirect and intangible costs of acute hand and wrist injuries: A systematic review. *Injury*. 47, 2614-2626 (2016)
- [9] Lambelet, C., Lyu, M., Woolley, D., Gassert, R. & Wenderoth, N. The eWrist ? A wearable wrist exoskeleton with sEMG-based force control for stroke rehabilitation. *2017 International Conference On Rehabilitation Robotics (ICORR)*. pp. 726-733 (2017)
- [10] Sutton, L., Moein, H., Rafiee, A., Madden, J. & Menon, C. Design of an assistive wrist orthosis using conductive nylon actuators. *2016 6th IEEE International Conference On Biomedical Robotics And Biomechanics (BioRob)*. pp. 1074-1079 (2016)
- [11] Sangha, S., Elnady, A. & Menon, C. A compact robotic orthosis for wrist assistance. *2016 6th IEEE International Conference On Biomedical Robotics And Biomechanics (BioRob)*. pp. 1080-1085 (2016)
- [12] Kiguchi, K., Esaki, R. & Fukuda, T. Development of a wearable exoskeleton for daily forearm motion assist. *Advanced Robotics*. 19 pp. 751-771 (2005,1)
- [13] Realmuto, J. & Sanger, T. A robotic forearm orthosis using soft fabric-based helical actuators. *2019 2nd IEEE International Conference On Soft Robotics (RoboSoft)*. pp. 591-596 (2019)
- [14] Park, S., Yi, J., Kim, D., Lee, Y., Koo, H. & Park, Y. A Lightweight, Soft Wearable Sleeve for Rehabilitation of Forearm Pronation and Supination. *2019 2nd IEEE International Conference On Soft Robotics (RoboSoft)*. pp. 636-641 (2019)
- [15] Meng, W., Sheng, B., Klinger, M., Liu, Q., Zhou, Z. & Xie, S. Design and control of a robotic wrist orthosis for joint rehabilitation. *2015 IEEE International Conference On Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*. pp. 1235-1240 (2015)
- [16] Bartlett, N., Lyau, V., Raiford, W., Holland, D., Gafford, J., Ellis, T. & Walsh, C. A Soft Robotic Orthosis for Wrist

Rehabilitation. *ASME Design Of Medical Devices Conference*. (2015,4,2015)

- [17] Hope, J. & Mcdaid, A. Development of Wearable Wrist and Forearm Exoskeleton with Shape Memory Alloy Actuators. *Journal Of Intelligent & Robotic Systems*. 86 (2017,6)
- [18] Tsabedze, T., Hartman, E., Brennan, C. & Zhang, J. A Compliant Robotic Wrist Orthosis Driven by Twisted String Actuators. *2021 International Symposium On Medical Robotics (ISMR)*. pp. 1-7 (2021)
- [19] Tsabedze, T., Hartman, E., Abrego, E., Brennan, C. & Zhang, J. TSA-BRAG: A Twisted String Actuator-powered Biomimetic Robotic Assistive Glove. *2020 International Symposium On Medical Robotics (ISMR)*. pp. 159-165 (2020)
- [20] Higuma, T., Kiguchi, K. & Arata, J. Low-Profile Two-Degree-of-Freedom Wrist Exoskeleton Device Using Multiple Spring Blades. *IEEE Robotics And Automation Letters*. 3, 305-311 (2018)
- [21] Dittli, J., Vasileiou, C., Asanovski, H., Lieber, J., Lin, J., Meyer-Heim, A., Van Hedel, H., Gassert, R. & Lamberg, O. Design of a compliant, stabilizing wrist mechanism for a pediatric hand exoskeleton. *2022 International Conference On Rehabilitation Robotics (ICORR)*. pp. 1-6 (2022)
- [22] Lee, G., Hong, G. & Choi, Y. Tendon-Driven Compliant Prosthetic Wrist Consisting of Three Rows Based on the Concept of Tensegrity Structure. *IEEE Robotics And Automation Letters*. 6, 3956-3963 (2021)
- [23] Schaeffer, L., Herrmann, D. & Böhm, V. Preliminary Theoretical Considerations of a Hand Orthosis Based on a Prestressed, Compliant Structure. *2023 International Symposium On Medical Robotics (ISMR)*. pp. 1-7
- [24] Schaeffer, L., Herrmann, D. & Böhm, V. Concept of a wrist Hand Orthosis based on a prestressed compliant structure. *2023 7th International Conference On Biomedical Engineering And Applications (ICBEA)*. pp. 98-103 (2023)
- [25] Schaeffer, L., Herrmann, D., Böhm, V. & Ilmenau Scientific Colloquium. Theoretical considerations on a 2D compliant tensegrity joint in context of a biomedical application. *Engineering For A Changing World: Proceedings; 60th ISC, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau*. (2023,11)
- [26] Böhm, V. Mechanics of Tensegrity Structures and their Application in mobile Robotics. Habilitation Thesis, Ilmenau University of Technology (2016)
- [27] Kaufhold, T., Schale, F., Böhm, V. & Zimmermann, K. Indoor locomotion experiments of a spherical mobile robot based on a tensegrity structure with curved compressed members. *2017 IEEE International Conference On Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*. pp. 523-528 (2017)
- [28] Sumi, S., Böhm, V. & Zimmermann, K. A multistable tensegrity structure with a gripper application. *Mechanism And Machine Theory*. 114 pp. 204-217 (2017)
- [29] Schorr, P., Schale, F., Otterbach, J. M., Zentner, L., Zimmermann, K. & Böhm, V. Investigation of a Multistable Tensegrity Robot applied as Tilting Locomotion System. *2020 IEEE International Conference On Robotics And Automation (ICRA)*. pp. 2932-2938 (2020)
- [30] Zappetti, D., Jeong, S., Shintake, J. & Floreano, D. Phase Changing Materials-Based Variable-Stiffness Tensegrity Structures. *Soft Robotics*. 7, 362-369 (2020)
- [31] Juan, S. & Mirats Tur, J. Tensegrity frameworks: Static analysis review. *Mechanism And Machine Theory*. 43, 859-881 (2008)
- [32] Böhm, V., Sumi, S., Kaufhold, T. & Zimmermann, K. Compliant multistable tensegrity structures. *Mechanism And Machine Theory*. 115 pp. 130-148 (2017)
- [33] Zhang, L., Li, Y., Cao, Y. & Feng, X. Stiffness matrix based Form-finding method of tensegrity structures. *Engineering Structures*. 8 pp. 36-48 (2014)

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

In: Zehnte IFToMM D-A-CH Konferenz 2024

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/81586

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20240304-122226-3



Dieses Werk kann unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 Lizenz (CC BY-NC-ND 4.0) genutzt werden.