



©Bundeswehr/C. König

CHECK SIX WITHOUT PAIN

Beanspruchung der Halswirbelsäule bei Eurofighter-Piloten unter „high-G_z“ im Realflug (Vortrags-Abstract)

René Lingscheid^{a, b}, Fabian Goell^b, Roland Nuesse^a, Kirsten Albracht^{b, e, f}, Bjoern Braunstein^{b, c, d, f}

Thema und Zielsetzung

Kampfpiloten sind in Abhängigkeit vom Luftfahrzeugmuster und ihrem jeweiligen fliegerischen Auftrag Beschleunigungen im Bereich des 5- bis 9-fachen der Erdbeschleunigung ausgesetzt. Das uneingeschränkte Bewegungsvermögen der Halswirbelsäule auch unter hoher G-Belastung ist essenziell für die visuelle Beobachtung des umgebenden Luftraums und somit für den Einsatzwert. Der Hals- und Nackenbereich gilt als vulnerable Region, da es kein protektives Entlastungs- oder Schutzsystem (z.B. Anti-G-Suite, Helm) für die HWS gibt.

Belastungsbedingte Beschwerden

Eine Befragung von 58 F-16-Piloten der Königlich Dänischen Luftwaffe deutet darauf hin [3], dass anhaltende und wiederkehrende hohe Beschleunigungen sowie gleichzeitig endgradige Kopfbewegungen (z.B. Blick nach hinten, sogenannte „Check-Six-Position“), kombiniert mit einem beengten Cockpit, einer weitgehend statischen Sitzhaltung und dem Tragen von speziellen Pilotenhelmen mit einem hohen Eigengewicht die Arbeitsbelastung eines Piloten deutlich erhöhen und akute oder sogar chronische muskuloskelettale Beschwerden verursachen können. Als akute Effekte werden lokaler Schmerz, Einschränkung des Bewegungsausmaßes sowie die Erhöhung des Muskeltonus beschrieben [3]. Es

wird vermutet, dass ein präventives Training der Muskulatur zur Linderung der Beschwerden und zum Etablieren protektiver Reserven führt [7, 9].

Präventives Training möglich

Die meisten verfügbaren Publikationen zur Auswirkung erhöhter Belastungen des Realfluges auf die Halswirbelsäule, wie die Studie von LANGE et al. [3], basieren auf retrospektiven Befragungen. Interventionelle Studien mit Piloten sowie Beobachtungsstudien im Realflug zur Analyse der Auswirkung erhöhter Belastungen auf die Halswirbelsäule sind die Ausnahme. RAUSCH et al. [7] zeigten, dass ein 12-wöchiges funktionelles Krafttrainingsprogramm bei Jetpiloten die Maximalkraft und das Volumen der Nacken- und Schultermuskulatur vergrößert. Darüber hinaus reduzierte das Training die Muskelaktivierung und die wahrgenommene Beanspruchung der Muskeln, wenn das Personal in einer Langarmzentrifuge erhöhten Kräften von 1,4 G_z und 3 G_z ausgesetzt war.

Simulation reicht nicht aus

Im Realflug untersuchte eine Forschergruppe aus Australien die neuromuskuläre Aktivität von vier Hals- und Nackenmuskeln (M. sternocleidomastoideus, M. levator scapulae, M. erector spinae, M. trapezius) bei 6 Piloten mittels Elektromyografie. Die Aktivitäten wurden bei Einfachen (1 G_z), Dreifachen (3 G_z) und Fünffachen (5 G_z) der Erdbeschleunigung in 4 typischen Kopfpositionen aufgezeichnet [5]. Die höchste Aktivität (71,5 % der maximal willkürlichen Aktivität) wurde am linken M. sternocleidomastoideus während der Check-Six-Position bei 5 G_z beobachtet. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen des Realfluges wurde in einer weiteren Studie die Eig- nung des Trainings der Hals- und Nackenmuskeln sowohl

^a Taktisches Luftwaffengeschwader 31 „Boelcke“, Nörvenich

^b Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Bewegung- und Neuro- wissenschaft

^c Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Biomechanik und Ortho- pädie

^d Deutsche Sporthochschule Köln, German Research Centre of Elite Sport

^e Fachhochschule Aachen, Fachbereich Medizintechnik und Technoma- thematik

^f Deutsche Sporthochschule Köln, Zentrum für Integrative Physiologie im Weltraum

mit 3 verschiedenen starken Widerstandsbändern als auch mit entsprechenden Geräten bei 50 %, 70 % und 90 % der individuellen isometrischen Maximalkraft evaluiert [6]. Mit keinem der Widerstandsbänder gelang es, die Muskelaktivität äquivalent zu einem Realflug bei 5 G_z zu erreichen. Bei einem Gerätetraining bei 90 % der individuellen isometrischen Maximalkraft ist es zumindest beim M. erector spinae möglich, diese Aktivierung zu erreichen.

Beanspruchung im Realflug unklar

Aufgrund der aktuell verfügbaren Studien ist die Belastung der Halswirbelsäule bei Beschleunigungen im Realflug über den Bereich von 5 G_z hinaus unklar. Daher sollen im Rahmen des Forschungsprojekts **Beanspruchung der Halswirbelsäule bei Eurofighter Piloten unter „high-G_z“ im Realflug** zum einen die Abschätzung der Halswirbelsäulenbelastung im Realflug bei hohen Beschleunigungen (G_z) mithilfe eines biomechanischen Modells der Halswirbelsäule und zum anderen die Effekte eines Realfluges als Intervention auf die Funktion der Halswirbelsäule untersucht werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen eine Grundlage zur Empfehlung für Training und Diagnostik und damit einer nachhaltigen Gesunderhaltung des Bewegungsapparates im Schulter-Nacken-Bereich bilden.

Methodik

Um den Effekt eines Realfluges auf die Funktion der Halswirbelsäule zu quantifizieren, werden die entsprechend den definierten Ein- und Ausschlusskriterien rekrutierten Piloten (Ethikantrag Nr.: 33/2019, genehmigt durch die Deutsche Sporthochschule Köln) zu 3 Zeitpunkten untersucht:

- unmittelbar vor dem Flug,
- unmittelbar nach dem Flug und
- 24 h nach dem Flug.

Die Teilnahme der Piloten an der Studie erfolgt freiwillig. Die Untersuchungen finden in einem am Geschwaderstandort installierten Bewegungsanalyselabor statt. Jede Untersuchung dauert ca. 30 min, wobei die Flugdienstverfahren (Flugvor- und Nachbereitungen) eingehalten werden.

Flugmanöver

Um möglichst einheitliche Belastungsmuster während des Realfluges zu garantieren, wurde in Zusammenarbeit mit erfahrenen Testpiloten eine realitätsnahe, gescipte Mission Card entworfen und mehrfach vorab auf Anwendbarkeit getestet. Die Mission Card für den Messflug besteht aus 4 Sets. Set 1, 2 und 4 sind gesciptete Manöver mit einer Dauer von 5 bis 10 s und den Kopfbewegungen (max up, max up left, max up right und Check-Six-Position) unter jeweils 5 G_z, 7 G_z und maximalem G_z. Bei Set 3 fliegen die Piloten freie Luftkampfsszenarien, womit habituelle Bewegungen erfasst werden. In der

Mission Card sind zudem alle relevanten Informationen zusammengefasst, sodass das Fluggerät eine möglichst gleiche Konfiguration an Zuladung, Treibstoffmengen und Avionik beinhaltet.

Datenerfassung

Bei allen Messflügen zeichnet das **Bulk Storage Device** (BSD) während des Realfluges technische Daten des Flugzeuges sowie die Bewegungsdaten des HEA-Helms (Head Equipment Assembly, Abbildung 1) auf. Zusätzlich erfolgt eine Inflight Video Observation im Cockpit der Piloten mit jeweils zwei Kameras, welche das individuelle Bewegungsverhalten dokumentieren. Das Bewegungsverhalten von Flugzeug und Pilot soll als Input für die biomechanische Modellierung des muskuloskelettalen Systems bzw. der Belastungsabschätzung der Halswirbelsäule dienen.



Abb. 1.: Der Autor beim ersten Mitflug im Eurofighter: Der HEA-Helm der Eurofighterpiloten wiegt etwa 2 kg.

Neben soziodemografischen bzw. anthropometrischen Daten wie Alter, Masse und Höhe werden unter anderem mechanische Parameter ausgewählter Muskeln (z. B. Tonus), Bewegungsausmaß und Schmerzen der Halswirbelsäule zu den 3 oben genannten Zeitpunkten erfasst. Der **Neck Disability Index Fragebogen** (NDI) ist Teil der Untersuchung unmittelbar vor dem Flug und 24 h nach dem Flug. Der NDI gibt mittels einer Skala von 0 % bis 100 % Auskunft, inwieweit Nackenbeschwerden den Alltag des Menschen, wie z. B. Konzentration, Schlaf und Regeneration, beeinflussen. Ab 20 % liegt ein klinisch relevanter Wert vor, welcher mit einem Risiko von persistierenden Beschwerden einhergeht [4, 10].

An allen 3 Untersuchungszeitpunkten wird das mechanische Verhalten der Muskulatur (M. sternocleidomastoideus, M. splenius capitis, M. trapezius) mit dem **Myoton-PRO** (Myoton® AS, Estland) an definierten Landmarken mit den Parametern Schwingungsfrequenz, Steifigkeit,

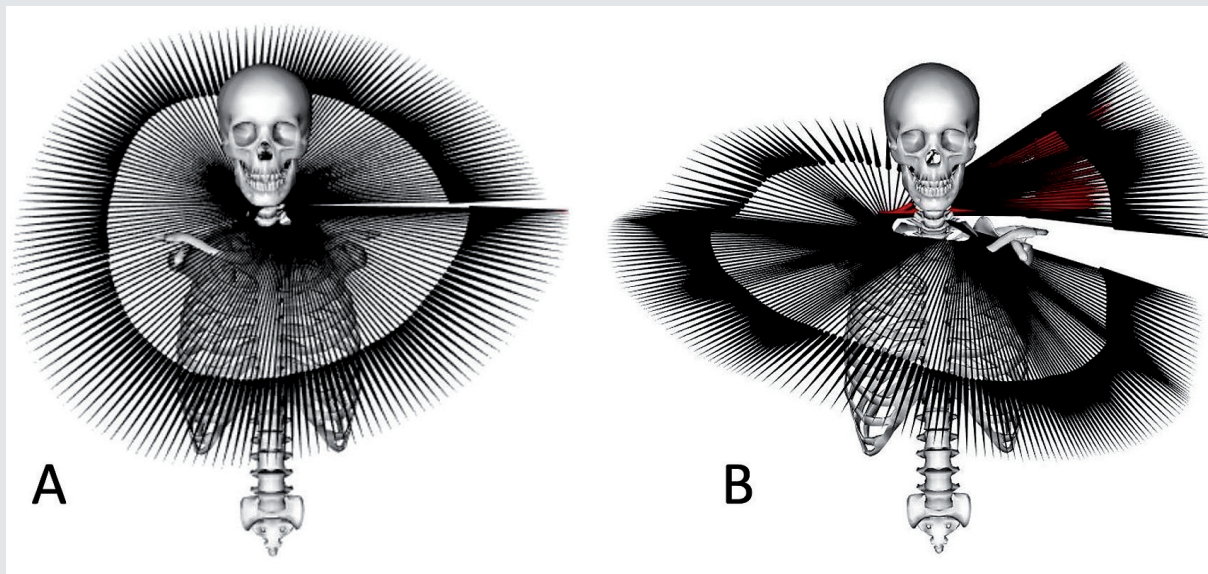


Abb. 2: Helikale-Achse bei einer Bewegung ohne (A) und einem Probanden mit (B) Faltungen

Elastizität, Relaxationszeit und Kriechen gemessen [8]. Zur Quantifizierung der Beweglichkeit der Halswirbelsäule wird eine **dreidimensionale Bewegungsanalyse** mit 7 Infrarot Highspeed-Kameras (Vicon®, UK) genutzt. 16 sphärische Marker (Ø 21 mm) definieren die Segmente Kopf und Oberkörper im Raum bzw. deren dreidimensionale Bewegung in Relation zueinander bei Flexion, Extension, Lateralflexion, Rotation und Zirkumduktion. Zusätzlich werden bei allen Bewegungen das subjektive Schmerzempfinden mittels **Visueller Analog Skala** abgefragt [2].

Zur Detektion von Bewegungsauffälligkeiten wird bei der Zirkumduktion die **helikale Achse** über die Zeit bestimmt [1]. Eine Fusion und Visualisierung der Körpersegmente und der berechneten helikalen Achse sind Abbildung 2 zu entnehmen. Bewegungsauffälligkeiten werden in Form von Faltungen dargestellt. Dabei repräsentiert die Anzahl der Bewegungsauffälligkeiten (d. h. Faltungen) den Grad der Auffälligkeit der Bewegungseinschränkung.

Erstes Fazit und Aussicht

Das Studienprotokoll lässt sich störungsfrei in das fliegerische Jahresprogramm des Geschwaders integrieren und schränkt somit den täglichen Flugdienst höchstens marginal ein. Nach bisherigem Stand der Untersuchung sind die angewendeten Untersuchungsmethoden ausreichend sensitiv, um Effekte einer Realflugintervention detektieren zu können. Das Projekt „Cervical Spine Typhoon“ endet voraussichtlich im Herbst 2023.

Literatur (Auswahl)

1. Ellingson AM, Yelissetti V, Schulz CA, Bronfort G, Downing J, Keefe DF, Nuckley DJ. Instantaneous helical axis methodology to identify aberrant neck motion. Clin Biomech 2013; 28(7): 731–735.

2. Inokuchi H, Tojima M, Mano H, Ishikawa Y, Ogata N, Haga N: Neck range of motion measurements using a new three-dimensional motion analysis system: validity and repeatability. Eur Spine J 2015; 24(12): 2807–2815.
3. Lange B, Torp-Svendsen J, Toft P: Neck pain among fighter pilots after the introduction of the JHMCS helmet and NVG in their environment. Aviat Space Environ Med 2011; 82(5): 559–563.
4. MacDermid JC, Walton DM, Avery S, Blanchard A, Etruw E, McAlpine C, Goldsmith CH: Measurement properties of the neck disability index: a systematic review. J Orthop Sports Phys Ther 2009; 39(5): 400–417.
5. Netto KJ, Burnett AF: Neck muscle activation and head postures in common high performance aerial combat maneuvers. Aviat Space Environ Med 2006; 77(10): 1049–1055.
6. Netto KJ, Burnett AF, Coleman JL: Neck exercises compared to muscle activation during aerial combat maneuvers. Aviat Space Environ Med. 2007;78(5):478–84.
7. Rausch M, Weber F, Kühn S, Ledderhos C, Zinner C, Sperlich B: The effects of 12 weeks of functional strength training on muscle strength, volume and activity upon exposure to elevated Gz forces in high-performance aircraft personnel. Mil Med Res 2021; 8(1): 15.
8. Taş S, Yaşar Ü, Kaynak BA: Interrater and Intrarater Reliability of a Handheld Myotonometer in Measuring Mechanical Properties of the Neck and Orofacial Muscles. J Manipulative Physiol Ther 2021; 44(1): 42–48.
9. Tucker B, Netto K, Hampson G, Oppermann B, Aisbett B: Predicting neck pain in Royal Australian Air Force fighter pilots. Mil Med. 2012; 177(4): 444–450.
10. Vernon H: The Neck Disability Index: state-of-the-art, 1991–2008. J Manipulative Physiol Ther 2008; 31(7): 491–502.

Für die Verfasser

Hauptmann René Lingscheid
Taktisches Luftwaffengeschwader 31 „Boelcke“,
Nörvenich
E-Mail: ReneLingscheid@bundeswehr.org

Vortrag bei der 66. Fliegerarztagung der Bundeswehr in Bonn (8. bis 11. November 2021)