
Sensointegrative Bewegungsregulation und Raumorientierung bei sportartspezifischen Rotations-elementen in technisch-kompositorischen Sportarten

Jürgen Krug & Christoph von Laßberg

Universität Leipzig, Sportwissenschaftliche Fakultät

Problem

Die Existenz enger Wechselbeziehungen zwischen Okulomotorik, cervicotonischen Reflexen und Spinalmotorik ist seit langem bekannt. Sportspezifische Ableitungen zur Systematisierung derartiger Reflexkreise waren allerdings bisher aus untersuchungsmethodischen Gründen kaum realisierbar. Es bestehen daher bis heute nur lückenhafte Kenntnisse bzgl. der Auswirkungen cervikotonischer und okulomotorischer Reflexe auf die Steuerung der Spinalmotorik in Alltag und Sport. So ist in weiten Teilen unklar, gemäß welcher Prinzipien die genannten Systeme während der Ausführung komplexer sportlicher Bewegungsabläufe interagieren, und wie auf diese Interaktionsmuster durch trainingsmethodische Maßnahmen und Traineranweisungen gezielt Einfluss genommen werden könnte, um den Lernerfolg zu beschleunigen. Die aktuelle Lehrmethodik stützt sich bisher primär auf die Analyse kinematischer Daten von Athletinnen und Athleten der Weltspitze, also vor allem auf die Auswertung des „kinetischen Outputs“. Es ist allerdings unklar, inwieweit diese Daten tatsächlich Rückschlüsse auf die kontextabhängige Abfolge des jeweils erforderlichen „neuro-muskulären Inputs“, also der exakten senso-integrativen Abstimmung der notwendigen cervicalen, okulomotorischen und spinalmotorischen Ansteuerungsmuster erlauben. Somit ist bisher nicht geklärt, inwieweit die in der Praxis gängigen Traineranweisungen den für den Bewegungserfolg notwendigen integrativen Aktionsmustern tatsächlich entsprechen. Das Ziel des Projekts bestand darin, eine kombinierte Hard- und Softwarelösung zu entwickeln, welche es ermöglicht, zeitgleich exakte 3D-kinematische, okulomotorische und elektromyographische Daten während der Ausführung komplexer sportlicher Bewegungsabläufe zu erfassen und anhand einer Spezialsoftware so aufzubereiten, dass es möglich wird, gewissermaßen in die Athletin bzw. den Athleten „hineinzusehen“ und nach Bedarf die entsprechenden Daten aufzurufen und auszuwerten. Es sollte dadurch erstmals eine detaillierte Analyse bzgl. der zeitlich-dynamischen Abfolge neuro-muskulärer sowie senso-integrativer Interaktionen vestibulärer, okulomotorischer, cervicotonischer, spinal-motorischer und kinematischer Daten während multiaxialer sportlicher Bewegungsabläufe ermöglicht werden, um die Ergebnisse schließlich für eine Optimierung der Trainingsmethodik nutzen zu können.

Methode und Realisation

Das Projekt wurde in folgenden Schritten realisiert:

Erstes Projektjahr:

Entwicklung der notwendigen Hard- und Softwarekomponenten, welche in enger Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, Tübingen (MPI) erfolgte. Diese umfasste im Wesentlichen folgende Schwerpunkte (siehe auch Abb. 1):

- 1) Entwicklung eines den spezifischen Anforderungen entsprechenden „Sport-Videokulographiesystems“ (Fa. Chronos Vision, Berlin; Fa. Interacoustics, Dänemark; Fa. Kienzle, Stuttgart);
- 2) Entwicklung einer anforderungsspezifischen Software zur Korrektur beschleunigungsbedingter translatorischer Bewegungen der Okulographiebrille bei hohen Beschleunigungen (Fa. Chronos Vision, Berlin);
- 3) Testung eines geeigneten telemetrischen Multikanal-EMG-Systems und Erprobung unter sportartspezifischen Bedingungen (Fa. Noraxon, USA; Fa. Kine, Island);
- 4) Entwicklung eines den sportspezifischen Anforderungen entsprechenden Infrarot-Markerset (Flächenmarker) zur 3-D-kinemetrischen Erfassung hochdynamischer sportartspezifischer Bewegungsabläufe anhand einer 16-Kanal-Infrarotkameraanlage (Fa. Vicon) am „Cyberneum“ des Max-Planck-Instituts für biologische Kybernetik, Tübingen;
- 5) Entwicklung einer spezifischen Software („Vismo“) zur Integration und synchronen On-Screen-Visualisierung sowie zur Auswertung der erhobenen Datenkomponenten.



Abb 1. Von links: Bild 1 und 2: Präparation mit EMG und Infrarotmarkerset.
Bild 3: Okulographiebrille; Bild 4: Okulographiemessplatz;
Bild 5: Messung während eines Abgangs vom Reck

Zweites Projektjahr:

- 1) Validierung des Verfahrens und seiner Messkomponenten;
- 2) Messreihe an 13 Kunstturnern des Landes- und Bundeskaders;
- 3) Aufbereitung und Auswertung ausgewählter Datensätze der Messreihe gemäß der definierten Fragestellungen des Projekts.

Ergebnisse

Validierung des Verfahrens, Qualität und Umfang des gewonnenen Datenmaterials

Gemäß der oben skizzierten Planung konnten alle Schritte der Hard- und Softwareentwicklung erfolgreich umgesetzt werden. Es konnten im Rahmen der Hauptuntersuchungsreihe am „Cyberneum“ des Max-Planck-Instituts in Tübingen erstmals unter Verwendung aller oben genannter Messkomponenten Schraubensalti mit bis zu 2,5 Längsachsendrehungen aus dem Trampolin, sowie gesamte Kürübungen an weiteren Geräten bis hin zu Flugelementen am Reck erfasst werden. Darüber hinaus wurden Höchstschwierigkeiten wie z. B. „Kovacs gestreckt“ oder „doppelter Tsukahara gestreckt“ realisiert, bei welchen allerdings aus Sicherheitsgründen teilweise auf die Erhebung der okulomotorischen Daten verzichtet wurde und nur die kinematischen, cervicomotorischen und elektromyographischen Daten aufgezeichnet wurden. Bisher konnten an einem Kollektiv von 13 Kaderturnerinnen bzw. -turnern über 320 Messungen mit ca. 1.300 turnerischen Einzelelementen an 5 Geräten sowie etwa 5.000 Alltagsbewegungen aufgezeichnet werden. Ergänzend stehen aus vorangegangenen Untersuchungen die Daten von ca. 700 turnerischen Elementen und Alltagsbewegungen von 8 Freizeitsportlerinnen bzw. -sportlern zur Verfügung, welche sich allerdings auf elektromyographische und okulomotorische Messungen beschränken.

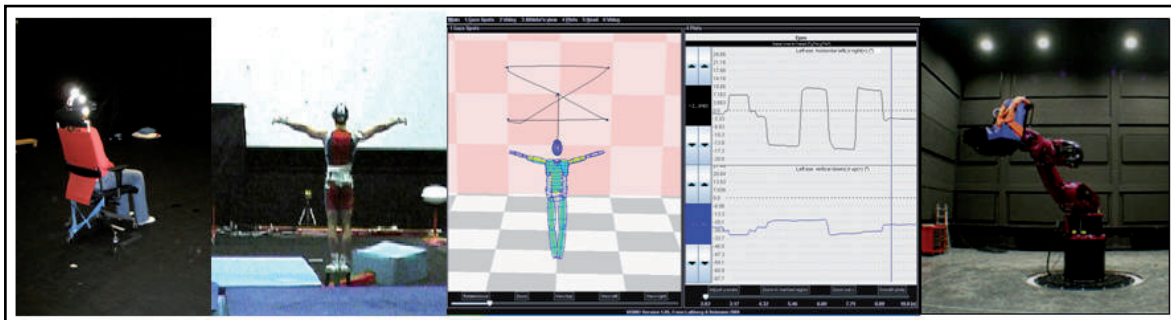


Abb. 2. Von links: Bild 1: Blicktests bei fixierter Kopfposition; Bild 2 - 4: 5-Punkte-Standardkalibrierung im freien Stand mit Darstellung im Segmentmodell und den errechneten Blickdaten; Bild 5: Kuka-Roboter des MPI zur Validierung der ermittelten Beschleunigungsdaten.

Die Validierung des Verfahrens und seiner Teilkomponenten erfolgte sowohl am multi-axialen Bewegungs-Roboter des MPI (Fa. Kuka, Augsburg) als auch im Rahmen verschiedener Blickmessungen unter diversen statischen und dynamischen Bedingungen (Abb. 2). Die folgende Tabelle (Tab. 1) skizziert beispielhaft die Ergebnisse der standardisierten Kalibrierungsmessungen vor jedem Messdurchgang (Rohdaten vs. Glättung über 13 Frames). Bei der Interpretation der Werte ist zu berücksichtigen, dass die zu fixierenden Marker selbst einen Eigendurchmesser von 2,0 cm aufweisen. Leichte Blickabweichungen bis ca. $0,1^\circ$ (ca 1 cm auf 5 m) werden außerdem unter Bedingungen der visuellen Fixation als physiologisch beschrieben (Leigh & Zee, 2006, S. 190). Detaillierte Ergebnisse zur Validierung der einzelnen Messkomponenten werden im Abschlussbericht ausführlich dargestellt.

Tab 1. *Spannweite und Standardabweichungen von Blickspots während eines Messdurchgangs (ausgewählte Beispiele)*

Spannweite \pm Standardabweichung der Blickspots bei Fixierung eines Markers im freien Stand in einer Entfernung von 5 m (50 Hz; Arithm. Mittelwert = 0; Rohdaten vs. Glättung über 13 Frames)		
	X-Achse	Y-Achse
Beispiel K37: Rohdaten; n = 100	4,17 \pm 1,00 cm	6,27 \pm 1,43 cm
Beispiel K37: Geglättet; n = 100	2,04 \pm 0,65 cm	2,5 \pm 0,79 cm

Zusammenfassend bietet das Verfahren aufgrund seiner hohen Datenpräzision, sowie durch die Verknüpfung und anschauliche Darstellung extrinsischer (Positionen, Winkel, Beschleunigungen etc.) und intrinsischer Daten (neuro-muskuläre Aktivierung, vestibuläre Belastungen, Blicksteuerung) völlig neuartige Möglichkeiten bzgl. Art und Umfang der multimodalen Bewegungsanalyse.

Ausgewählte Ergebnisse zur Orientierungsregulation und sensointegrativen Bewegungssteuerung während multiaxialer Rotations-elemente um diverse Drehachsen

- Es konnten die Hypothesen des von Laßberg postulierten 4-Funktionen-Modells der Okulomotorik während der Ausführung multiaxialer Rotationen im freien Flug (von Laßberg, 2007a) im Wesentlichen bestätigt werden. Insbesondere konnten Phasen *umgebungsbezogener* (stabilisierender) Blickfunktionen klar von Phasen *bewegungsbezogener* (neuorientierender) Blickfunktionen abgegrenzt werden.
- Es wurde ausnahmslos eine vollständige Suppression von Nystagmen während der schnellen Rotationsphase bei Ein- und Mehrfachschräuben nachgewiesen. Hingegen waren die Phasen des Absprungs und der Landungsvorbereitung verstärkt durch zielfixierende und nystagmische Reflexmuster gekennzeichnet. Das Ergebnis belegt, dass sich die okulomotorischen Reflexmuster während *aktiv* ausgeführter multiaxialer Rotationen deutlich von den bekannten Mustern bei *passiven* multiaxialen Rotationen unterscheiden und vermutlich im Sinne spinalmotorisch unterstützender Blickfunktionen modifiziert werden.
- Lidschlüsse oder Bulbusdeviationen in Einheit mit einer vollständigen spinalmotorischen Bewegungsstarre („Frozen position“) waren bei technisch hochklassigen Turnerinnen bzw. Turnern nicht zu finden. Sie scheinen ein Phänomen darzustellen, welches offenbar eher bei Sportlerinnen und Sportlern geringeren technischen Niveaus auftritt und müssen vermutlich als Hinweis für eine eingeschränkte Bewegungskontrolle während dieser Phasen gewertet werden.
- Es fanden sich bei den Kaderturnern hingegen klare Zusammenhänge zwischen Auge-, Kopf- und Körpersteuerung während multiaxialer Mehrfachrotationen im Sinne eindeutiger, jedoch mit bloßem Auge kaum sichtbarer Hulabewegungen, welche sich anhand spezifischer Aktivierungsmuster seitens der okulomotorischen, der neuromuskulären und der infrarotkinematischen Daten identifizieren ließen.

- Das bereits 2007 postulierte „Punctum-fixum-Punctum-mobile-Modell“, welches besagt, dass die Erregungsausbreitung der neuromuskulären Ansteuerung zur möglichst effektiven Beschleunigung des jeweils drehachsenfernen Körpersegmentes (Punctum mobile) grundsätzlich vom Punctum fixum zum Punctum mobile verlaufen muss (von Laßberg, 2007b), konnte anhand des Datenmaterials klar bestätigt werden (siehe Beispiel in Abb. 3).
- Es konnte belegt werden, dass die kinematische Abfolge segmentaler Bewegungsmuster vielfach nicht dem zur erfolgreichen Realisation des Elementes erforderlichen neuromuskulären Input entspricht. Somit besteht die Gefahr, dass methodische Lehrwege, welche sich ausschließlich an kinematischen Technikleitbildern orientieren, eventuell in der Vermittlung zu fehlerhaften Ansteuerungsmustern führen.
- Typische Muster intertonischer Aktivierungsverläufe konnten auch für impulsübertragende und rotationsumkehrende Elemente (sog. „Konterbewegungen“) herausgearbeitet werden.
- Es konnten anhand des bisherigen Auswertungsstandes deutliche Hinweise auf enge Beziehungsmuster zwischen dem kontextspezifischen Timing bestimmter Augen- und Kopfbewegungen mit der maximalen Voraktivierung bzw. Detonisierung von Teilen der vorderen bzw. hinteren Muskelschlinge beschrieben werden. So ist z. B. eine maximale Aktivierung des M. pectoralis mayor vermutlich nur in Kombination mit einer kurzzeitigen maximalen Kopfreklination und einer homonymen Blickführung möglich (Abb. 3, Bild 3). Zur statistischen Untermauerung dieser Zusammenhänge ist eine fortgesetzte Aufbereitung des erhobenen Datenmaterials erforderlich.

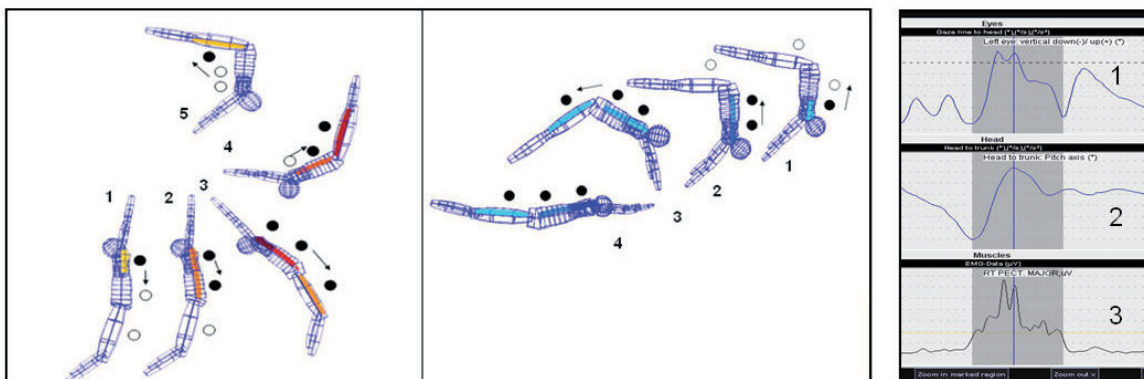


Abb. 3. Von links: Bild 1 u. 2: Neuromuskuläre Ansteuerung während eines beschleunigten Riesenumschwungs.
 Bild 3: Koaktivierungsmuster des M. pectoralis mayor (3) mit der Blick (1)- und Kopfsteuerung (2) während des Beinschlages bei einem Riesenumschwung.

Diskussion und Fazit

Die Summe der im Projekt herausgearbeiteten Ergebnisse trägt zu einem breiteren Gesamtverständnis wesentlicher Prinzipien der Auge- Kopf- Körpersteuerung und der sensointegrativen Bewegungssteuerung während Ausführung typischer sportartspezifischer Bewegungsmuster bei. Diese sind sowohl bei Grundlagenelementen bis hin zu daraus entwickelten Höchstschwierigkeiten weitgehend unverändert darstellbar. Dies unterstreicht, dass die Erlernung möglichst effektiver intertonischer Ansteuerungsmuster bereits bei Grundlagenelementen von fundamentaler Bedeutung für die spätere Leistungsentwicklung ist. Die Ergebnisse belegen außerdem, dass allein aufgrund extrinsischer Analysen von Spitzenathletinnen bzw. -athleten (z. B. Videoanalysen) nur eingeschränkt Rückschlüsse auf die für die erfolgreiche Realisation des Elementes erforderlichen intrinsischen Ansteuerungsmuster gezogen werden können, was die Notwendigkeit eines vertieften Wissens um diese Zusammenhänge für die Trainingspraxis unterstreicht. Die herausgearbeiteten Prinzipien der Auge-, Kopf-, Körpersteuerung sollten bereits im Grundlagen- und Aufbautraining gezielt erarbeitet werden, um von vornherein möglichst effektive und fehlerfreie Bewegungsmuster anzubahnen und damit nicht zuletzt auch Überlastungen passiver Strukturen des Bewegungsapparates vorzubeugen.

Literatur

Leigh, R.J. & Zee, D.S. (2006). *The Neurology of Eye Movements*. Oxford, New York: Oxford University Press.

Laßberg, C. von (2007a). *Okulomotorische Orientierungsregulation bei multiaxialen Ganzkörperrotationen*. Köln: Sportverlag Strauß.

Laßberg, C. von (2007b). Muskelschlingen und Turntechniken. In F. Bessi (Hrsg.), *Materialien für die Trainerausbildung Gerätturnen – 2. Lizenzstufe*. Freiburg: Flavio Bessi.

Auswahl praxisbezogener Veröffentlichungen und Vorträge aus dem Projekt:

Laßberg, C. von, Rapp, W. & Krug, J. (2009). Succession of Neuromuscular Activation During Different Techniques for Giant Swings in Gymnastics. In S. Loland, K. Bø, K. Fasting, J. Hallèn, Y. Ommundsen, G. Roberts & E. Tsolakidis (Eds.), *Proceedings of 14th Annual Congress of European College of Sport Science (125)*, Norwegian School of Sport Sciences, Oslo/Norway.

Laßberg, C. von, Rapp, W. & Krug, J. (2009). Therapeutic Approaches for Overload Prevention in Gymnastics based on Motor Learning of Context Specific Neuromuscular Succession. *Journal of sports sciences and medicine*, 8 (11), 146.

Laßberg, C. von (2009). *Neuromuskuläre Aktivierungsmuster ausgewählter turnerischer Elemente und Ableitungen für die Trainingspraxis*. Vortrag im Rahmen des internationalen Trainersymposiums beim Kunstturn-Weltcup in Cottbus am 21. 03. 2009.

Laßberg, C. von (2010). Neuromuskuläres System und differenzielle Trainingsansätze. In F. Bessi (Hrsg.), *Materialien für die Trainerausbildung Gerätturnen – Band 2*. Freiburg: Flavio Bessi.