

---

## **Zentral-periphere und intertonische Aktivierungsmuster der Auge-Kopf-Körpersteuerung bei Schwung- und Sprungbewegungen**

(AZ 070603/11)

Christoph von Laßberg & Jürgen Krug (Projektleiter)

Universität Leipzig, Sportwissenschaftliche Fakultät

### **Problem**

Die sensointegrative Bewegungsregulation ist ein äußerst bedeutsames aber auch komplexes Gebiet der Motorik des Menschen. Es umfasst sportphysiologische, sportpsychologische, sportmotorische und trainingswissenschaftliche Aspekte. Am Beispiel multiaxialer Rotationsbewegungen wurden in verschiedenen Projekten der eigenen Arbeitsgruppe (u. a. Projekt: Raumorientierung; Projekt: Sensointegrative Bewegungsregulation, AZ: 070605/08-09) seit einigen Jahren Phänomene dieser komplexen Bewegungsregulation untersucht (z. B. von Laßberg, 2007; von Laßberg et al., 2012). Aufbauend auf klinischen Untersuchungen der Okulomotorik unter passiven Bewegungsbedingungen entstanden zunehmend sportspezifische Verfahren, welche die Blickmotorik bei schnellen und multiaxialen, aktiv ausgeführten Drehbewegungen im Raum erfassbar machten und damit die Untersuchung von Besonderheiten der Anforderungen im Grenzbereich menschlicher Leistungsfähigkeit und Ableitungen für die Trainingspraxis erst ermöglichten. Die Untersuchungen mussten hierfür in einen größeren Kontext mit elektromyographischen und kinematischen Untersuchungen gesetzt werden, da die Funktion der Augen- und Kopfbewegungen auch im Kontext mit der Effizienz des angestrebten Bewegungsablaufes gesehen werden muss. Diesem Ansatz wurde 2009 in einer bis dato einmaligen Messreihe an 13 Kaderturnern entsprochen, welche im Rahmen des Bisp-Projekts „Sensointegrative Bewegungsregulation“ am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen realisiert worden war. Die Messungen beinhalteten die synchrone Erfassung von Daten eines speziell für diese Anforderungen entwickelten Okulographiesystems, von infrarotkinematischen Daten (16-Kanal-Vicon-Anlage), von elektromyographischen Daten der vorderen und hinteren Muskelschlinge, sowie einer zeitgleichen Videoaufzeichnung in zwei Ebenen während Ausführung von insgesamt ca. 1.300 turnerischen Elementen an 5 Geräten – bis hin zu Höchstschwierigkeiten (Abb. 1).



Abb 1. Von links nach rechts: Präparation mit EMG und Infrarotmarkerset (von der Seite, von hinten); Okulographiebrille; Okulographie-Messplatz während schneller Umwendbewegungen; Messung während eines Abgangs vom Reck

Die enge *bewegungsassoziierte* Verzahnung cervico-okulärer und spinalmotorischer Bewegungsmuster konnte in diesem Projekt durch den erstmaligen Nachweis „bewegungsbezogener Blickfunktionen“ bei komplexen Schraubensaltoelementen bestätigt werden, welche – in Abgrenzung zu den bekannten Prinzipien „umgebungsbezogener“ Blickfunktionen – in bestimmten Bewegungsphasen eine *synergistische Kopplung* von Auge-, Kopf- und intersegmentalen Körperbewegungen aufweisen. Es wurde außerdem ein Modell präsentiert, welches die intersegmentale, neuro-muskuläre Aktivierungsabfolge innerhalb der vorderen und hinteren Muskelschlinge bei rotationsbeschleunigenden vs. impulsübertragenden Bewegungsphasen beschreibt (Punctum fixum-Punctum mobile Modell; von Laßberg et al., 2009a und 2009b). Hierbei wurde postuliert, dass zu einer *möglichst effektiven* Rotationsbeschleunigung um eine feste Drehachse die neuromuskuläre Aktivierungsabfolge stets von der Drehachse ausgehend (Punctum fixum) zum drehachsenfernen Körpersegment hin (Punctum mobile) verlaufen muss, bei impulsübertragenden Bewegungsphasen hingegen in umgekehrter Richtung. Da gezeigt werden konnte, dass diese neuromuskulären Aktivierungsmuster häufig nicht mit dem sichtbaren kinematischen Output übereinstimmen, müssen bestimmte Traineranweisungen, welche sich an rein kinematischen Technikleitbildern orientieren (z. B. Videoanalysen) eventuell kritisch hinterfragt werden.

Ziel des aktuellen Projekts war es, einerseits das „Punctum fixum – Punctum mobile Modell“ weiter zu untermauern und an weiteren Elementgruppen diverser Schwung-, Sprung- und Abdruckbewegungen zu überprüfen, sowie andererseits die Interaktion dieser intersegmentalen Ansteuerungsmuster mit Mechanismen der Auge- und Kopfsteuerung gezielter zu untersuchen. Die Analysen basierten dabei auf der fortgesetzten Aufbereitung und Auswertung des Datenmaterials der genannten Messreihe von 2009. Ergänzend wurden außerdem Untersuchungen an 2 Eiskunstläufern und 2 Wasserspringern zur Entwicklung eines zusätzlichen akzelerometrischen Messsystems zur spezifischen Erfassung von Kopfbeschleunigungen anhand eines speziell modifizierten Ohrtubus in Leipzig vorgenommen.

## Methoden

Zur Aufbereitung und Auswertung ausgewählter Datensätze der Messreihen waren folgende Schritte erforderlich:

1. Labeln der infrarotkinematischen Daten und Berechnung virtueller Punkte im Falle der Verdeckung von Markern.
2. Halbautomatisches Einlesen der erhobenen Okulomotorikdaten in eine Spezialsoftware zur Korrektur des beschleunigungsbedingten Brillenverschubs und zur adäquaten Berechnung der Blicklinie im virtuellen Raum; manuelle Korrektur von Artefakten.
3. Aufbereitung der elektromyographischen Daten und Einlesen in die Auswertungssoftware Vismo.
4. Aufbereitung der Augenvideos und der Videos der externen Kameras in zwei Ebenen.
5. Integration, Anpassung und Synchronisation sämtlicher Daten- und Videofiles in der Auswertungssoftware Vismo; virtuelle Integration der Geräte.
6. Biomechanische und neurowissenschaftliche Aufbereitung; deskriptive und statistische Auswertung ausgewählter Datensätze der Messreihen gemäß der definierten Fragestellungen des Projekts.

## Ergebnisse

Im Folgenden sollen beispielhaft einige Ergebnisse aus den Projektabschnitten skizziert werden.

### Intersegmentale neuromuskuläre Ansteuerungsmuster

- Die prinzipielle Aktivierung vom Punctum fixum zum Punctum mobile während *rotationsbeschleunigender* Bewegungsphasen, sowie vom Punctum mobile zum Punctum fixum während *impulsübertragender* Bewegungsphasen konnte grundsätzlich für alle weiteren untersuchten Schwungelemente (Tkatchev, Kovacs, Kammgriffriesen, Riesenumschwünge am Barren) einschließlich stangennaher Elemente (Stecher, Stalder, freie Felge) bestätigt werden (zur Veranschaulichung siehe: Abb. 2, Kovacs).
- Die individuelle Ausprägung der neuro-muskulären Aktivierungsmuster wies eine hohe elementspezifische Stabilität auf, teilweise auch im *geräteübergreifenden Vergleich* (z. B. Riesenumschwung Reck vs. Barren). Dies kann als Beleg für einen hohen Automatisierungsgrad der individuellen Ansteuerungsmuster gewertet werden, was allerdings auch die Gefahr einer elemente- bzw. geräteübergreifenden Übertragung eventuell *fehlerhafter* oder insuffizienter Ansteuerungsmuster beinhaltet.
- Im Falle *rotationsumkehrender* Schwungelemente (Tkatchev) fand sich sowohl eine verstärkt *impulsübertragende* Technik (Abb. 2, Tkatchev 1 - vom Punctum mobile zum Punctum fixum) als auch eine primär in die *Gegenrotation beschleunigende* Technik (Abb. 2, Tkatchev 2 - vom Punctum fixum zum Punctum mobile).

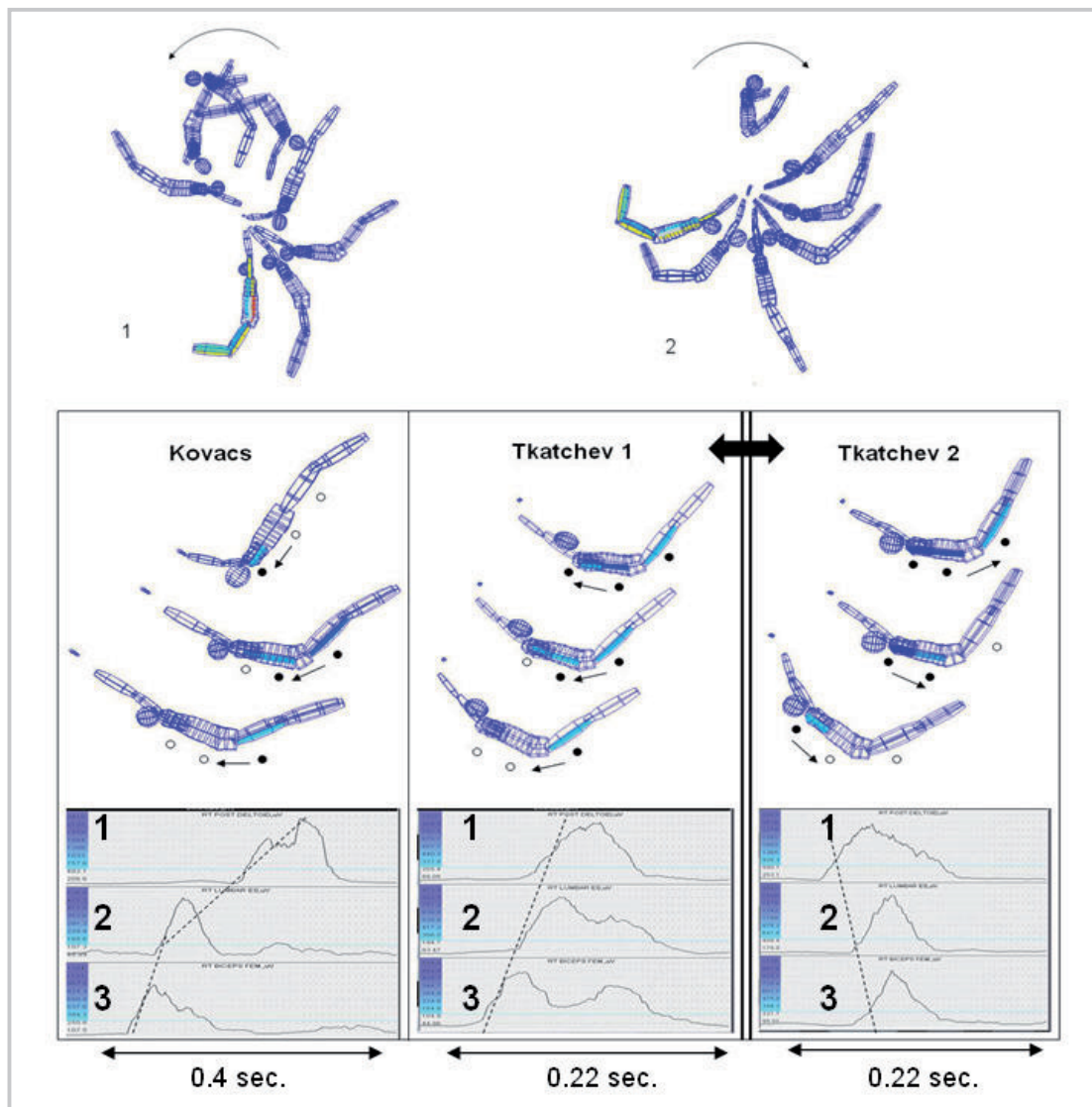


Abb. 2. Originaldaten der neuro-muskulären Ansteuerungsabfolge vor Flugelementen.  
 Oben: Kinematische Darstellung des vollständigen Elements.  
 Mitte: Integrierte Darstellung (EMG-Onsets + Kinematik) der Abfolge der hinteren Muskelschlingenaktivierung vor Kovacs bzw. Tkatchev.  
 Unten: EMG-Daten der hinteren Muskelschlinge (1 = Deltoideus; 2 = Erector spinae; 3 = Biceps femoris).

Die verschiedenen Techniken fanden sich intraindividuell stabil automatisiert. Welche der beiden Techniken als effizienter einzustufen ist, konnte anhand des bisher vorliegenden Datenmaterials nicht endgültig entschieden werden.

- Im Falle der untersuchten Absprung- und Abdruckbewegungen (Kurbet, Flick-Flack, Absprünge zu Salti und Schraubensalti vw und rw, Drehabstoß bei Longitudinaldrehungen) konnten die Prinzipien des Punctum fixum – Punctum mobile Modells ebenfalls grundsätzlich bestätigt werden.

### **Interaktion neuromuskulärer und cervico-okulomotorischer Ansteuerungsmuster (Auge-Kopf-Körpersteuerung)**

- Das im Abschlussbericht 2010 nachgewiesene Phänomen der „bewegungsbezogenen Blickfunktionen“ bei Salto- und Schraubensaltoelementen wurde bzgl. neurophysiologischer Erklärungsansätze geprüft. Aufbauend auf dem 4-Funktionsmodell (von Laßberg, 2007) wurde ein weiter differenziertes Modell entwickelt, welches in der Lage ist, das Phänomen der „bewegungsbezogenen Blickfunktionen“ anhand bereits beschriebener (allerdings bisher nicht eindeutig gekläarter) Phänomene funktioneller und reflektorischer Mechanismen der Okulomotorik im Sinne kontextspezifisch wechselnder Dominanzbeziehungen zu integrieren.
- Das beschriebene Modell berücksichtigt dabei insbesondere auch die Beobachtungen der Auge-Kopf-Körpersteuerung bei schnellen aktiven Umwendbewegungen (Drehabstoß) sowie die Auge-Kopf-Koordination bei aktiv ausgeführten Ganzkörperrotationsbewegungen um feste Drehachsen in der Sagittalebene (z. B. Umschwünge an Reck und Barren).
- Es konnten dabei generelle Interaktionsmechanismen zwischen cervicomotorischen und okulomotorischen Parametern mit intersegmentalen neuromuskulären und kinematischen Parametern im Sinne *bewegungsbezogener* Prinzipien der Auge- und Kopfsteuerung herausgearbeitet werden (Beispiel: Abb.3).
- Neben diesen generalisierten Prinzipien der Auge-Kopf-Körper-Interaktion konnten darüber hinaus individualtypische Besonderheiten abgegrenzt und deren Auswirkungen auf die Bewegungstechnik beschrieben werden.
- In Ergänzung zu dem oben erwähnten eher zentral-reflektorisch basierten Modell der Auge-Kopf-Körpersteuerung wurde außerdem eine periphere (evtl. dehnungsreflektorisch vermittelte) Komponente schneller Kopfbewegungen in Bezug auf eine Effizienzerhöhung der intersegmentalen Muskelschlingenaktivierung diskutiert und begründet.

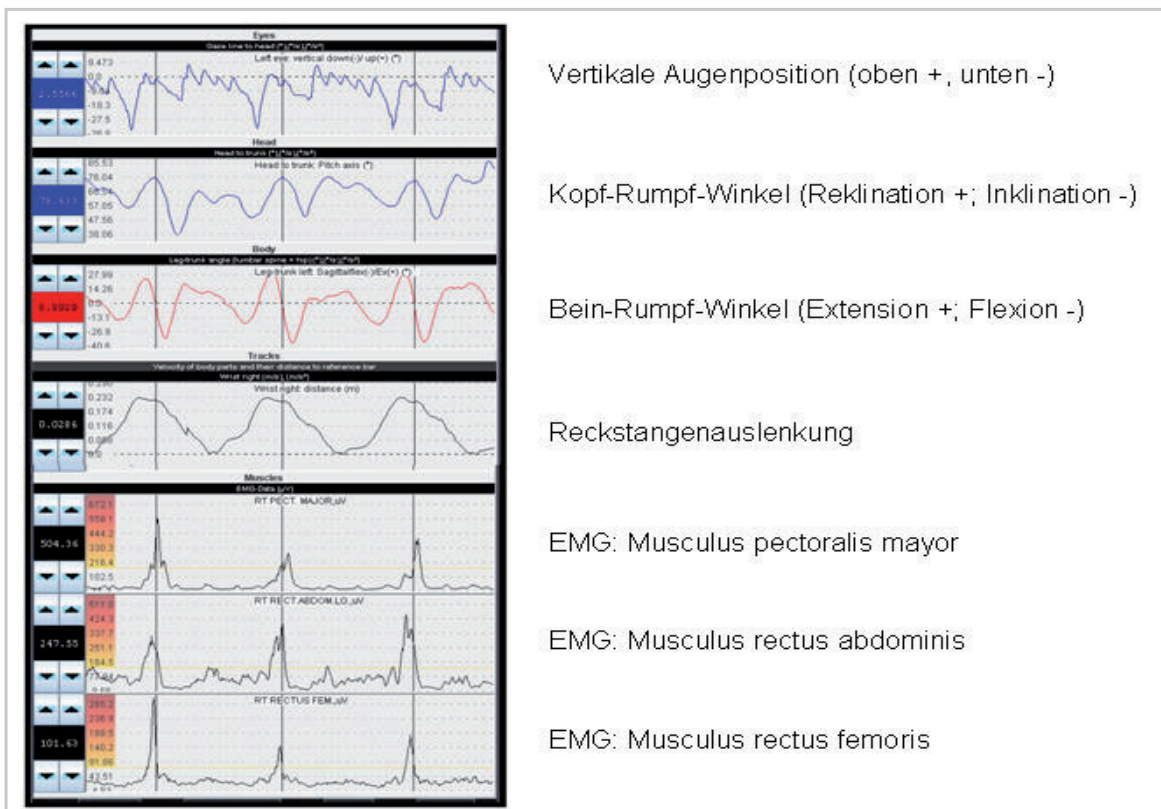


Abb 3. Beispielhafte Darstellung ausgewählter Originaldaten während der Ausführung von Riesenumschwüngen eines Kaderturners. Die senkrechten Linien markieren jeweils den Zeitpunkt der maximalen Beinbeschleunigung (ca. 30° nach Durchgang der Senkrechten). Deutlich ist in dieser Phase die jeweils maximale Kopfreklination und die maximale Aktivierung der vorderen Muskelschlinge (der Turner zeigt dabei etwas abweichende Aktivierungsmuster 2-1-3) in Verbindung mit einer Koaktivierung der Okulomotorik im Sinne der definierten „bewegungsbezogenen Blickfunktionen“ (keine foveale Wahrnehmung möglich) zu erkennen. Während des Abschwungs ist die Okulomotorik durch Nystagmen gekennzeichnet (zackenförmig), welche als typisches „umgebungsbezogenes Muster“ der visuellen Blickstabilisierung dienen.

## Diskussion

Die Ergebnisse unterstreichen die zentrale Bedeutung bewegungsbezogener Mechanismen der Auge- und Kopfsteuerung bei aktiv ausgeführten Bewegungsaufgaben. Die beschriebenen Aktivierungsmuster bei Rotationen um verschiedenste Drehachsen folgen dabei stets denselben Prinzipien – von grundsätzlichen sportlichen Bewegungsstrukturen bis hin zu sportartspezifischen Höchstschwierigkeiten. Es ist daher davon auszugehen, dass eine gezielte Erarbeitung dieser Ansteuerungsmuster im Grundlagenbereich von fundamentaler Bedeutung für die spätere Leistungsentwicklung sein dürfte und sowohl eine Verkürzung von Lernzeiten als auch eine Effektivierung von Bewegungsabläufen maßgeblich unterstützen könnte. Erste Ansätze zur spezifischen Anbahnung dieser Muster und deren Integration in das sportartspezifische Lern- und Leistungsvoraussetzungstraining wurden erarbeitet.

Die Projektbearbeiter bedanken sich beim Direktor des Max-Planck-Instituts für Biologische Kybernetik (Tübingen) für die Unterstützung der Untersuchungen.

## Literatur

- Laßberg, C. von (2007). *Okulomotorische Orientierungsregulation bei multiaxialen Ganzkörperrotationen*. Köln: Sportverlag Strauß.
- Laßberg, C. von, Rapp, W. & Krug, J. (2009a). 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 14<sup>th</sup> Annual Congress of European College of Sport Science* (125), Norwegian School of Sport Sciences, Oslo / Norway.
- Laßberg, C. von, Rapp, W. & Krug, J. (2009b). 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, Beykirch, K., Campos, J. L. & Krug, J. (2012). Smooth Pursuit Eye Movement Adaptation in High Level Gymnasts. *Motor control*, 16 (2), 176-194.