

# Entwicklung einer Methode zur Bestimmung des Muskelvolumens und des physiologischen Querschnitts zur Anwendung in der trainingsbegleitenden Leistungsdiagnostik

Adamantios Arampatzis

Universität Berlin,  
Abteilung für Trainings- und Bewegungswissenschaften

## Problem

Das Muskelvolumen lässt sich durch eine Rekonstruktion des Muskels anhand von Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) Aufnahmen bestimmen (Mitsiopoulos et al., 1998; Shellock, 1989). Trotz automatischer Segmentierungsalgorithmen ist die vollständige Rekonstruktion eines Muskels anhand von MRT Aufnahmen immer noch sehr zeit- und kostenintensiv und daher zur trainingsbegleitenden Kraftdiagnostik sowie zur Dokumentation eines Rehabilitationsprozesses nicht geeignet. Aus diesem Grund wird in der trainingsbegleitenden Kraftdiagnostik bzw. zur Dokumentation des Rehabilitationsprozesses immer noch die anatomische Querschnittsfläche zur Beurteilung einer Hypertrophie als Folge von Krafttraining verwendet, obwohl eindeutig nachgewiesen ist, dass die anatomische Querschnittsfläche, die durch ein Krafttraining tatsächlich induzierte Hypertrophie deutlich unterschätzt (Aagaard et al., 2001). In der Wissenschaft wird die physiologische Querschnittsfläche im Vergleich zur anatomischen Querschnittsfläche allgemein als besseres Maß zur Beurteilung von morphologischen Veränderungen aufgrund von Training betrachtet (Aagaard et al., 2001; Bamman et al., 2000). Um die Diagnostik der morphologischen Reaktion auf ein Krafttraining für die trainingsbegleitende Leistungsdiagnostik sowie in der Rehabilitation nutzbar zu machen, ist das Ziel dieses Projektes, eine Methode zur Bestimmung des Muskelvolumens und somit auch der Physiologischen Querschnittsfläche (PCSA) anhand von einfach zugänglichen Parametern für den größten Plantarflexor, den M. triceps surae, zu entwickeln. Die Entwicklung der Methode beruht auf folgender theoretischen Überlegung. Das Muskelvolumen ( $V_m$ ) entspricht dem Integral der anatomischen Querschnittsfläche (ACSA) über die Muskellänge ( $l_m$ ) (siehe Gleichung 1):

$$V_m = \int_0^{l_m} ACSA(z) dz = \overline{ACSA} \cdot l_m \quad (1)$$

wobei  $\overline{ACSA}$  die mittlere anatomische Querschnittsfläche ist. Durch Normierung der  $\overline{ACSA}$  mit der maximalen anatomischen Querschnittsfläche ( $ACSA_{max}$ ), so dass  $\overline{ACSA} = p \cdot ACSA_{max}$  und  $0 \leq p \leq 1$  lässt sich die Gleichung 1 wie folgt umschreiben:

$$V_m = p \cdot ACSA_{max} \cdot l_m \quad (2)$$

Anhand dieser 2. Gleichung wird deutlich, dass sich das Muskelvolumen als ein Anteil des Produktes aus ACSA<sub>max</sub> und  $l_m$  darstellen lässt. Die Größe des Anteils bzw. der Wert von  $p$  (Formparameter) ist abhängig von der Form des Muskels. Aufgrund dieser theoretischen Überlegung haben wir die Hypothese aufgestellt, dass die Form des Muskels innerhalb der Population ähnlich ist, und dass somit das Muskelvolumen anhand des maximalen anatomischen Querschnitts und der Muskellänge bestimmt werden kann.

## Methode

Zur Bestimmung des Muskelvolumens *in vivo* wird die Rekonstruktion anhand von MRT Aufnahmen als am geeignetsten betrachtet (Mitsiopoulos et al. 1998; Shellock 1989) und soll somit als Referenz zur Validierung der entwickelten Methode verwendet werden. Daher wurden die drei einzelnen Muskeln des M. triceps surae auf der Basis von MRT Aufnahmen vollständig rekonstruiert und das Muskelvolumen berechnet. Zur Rekonstruktion des Muskels wurden transversale MRT Bilder (T1 gewichtet) mit einer Schichtdicke von 4 mm über einen Bereich aufgenommen, so dass alle drei Muskeln des M. triceps surae vom Ursprung bis zum Ansatz erfasst wurden. In jedem aufgenommenen Bild wurden die einzelnen Muskeln des M. triceps surae manuell mit Hilfe der Software 3D Doctor (ABLE SOFTWARE CORP., Lexington, MA, USA) segmentiert (Abb. 1).

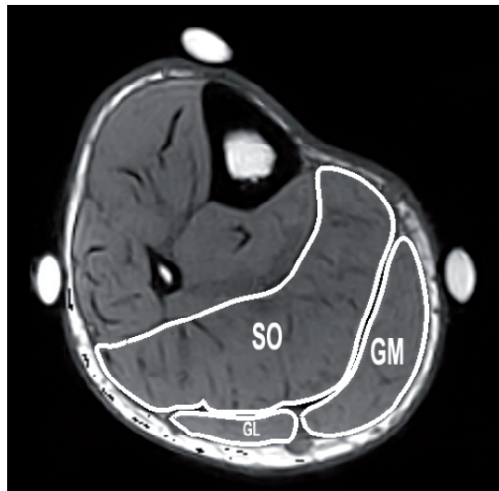


Abb. 1. Transversale Magnet Resonanz Aufnahme des Unterschenkels, in der die Umriss des M. soleus, M. gastrocnemius medialis und des M. gastrocnemius lateralis eingezeichnet sind.

Für jeden Muskel erhalten wir je nach Größe 60-100 transversale Konturen, aus denen zur Bestimmung des Muskelvolumens ein kontinuierlicher B-Spline Körper, basierend auf der Methode von Ng-Thow-Hing und Fiume (2002), generiert wird (Abb. 2). Zur Bestimmung des maximalen anatomischen Querschnitts werden die Flächeninhalte der transversalen Muskelkonturen (Abb. 1) berechnet und der maximale Querschnitt bestimmt.

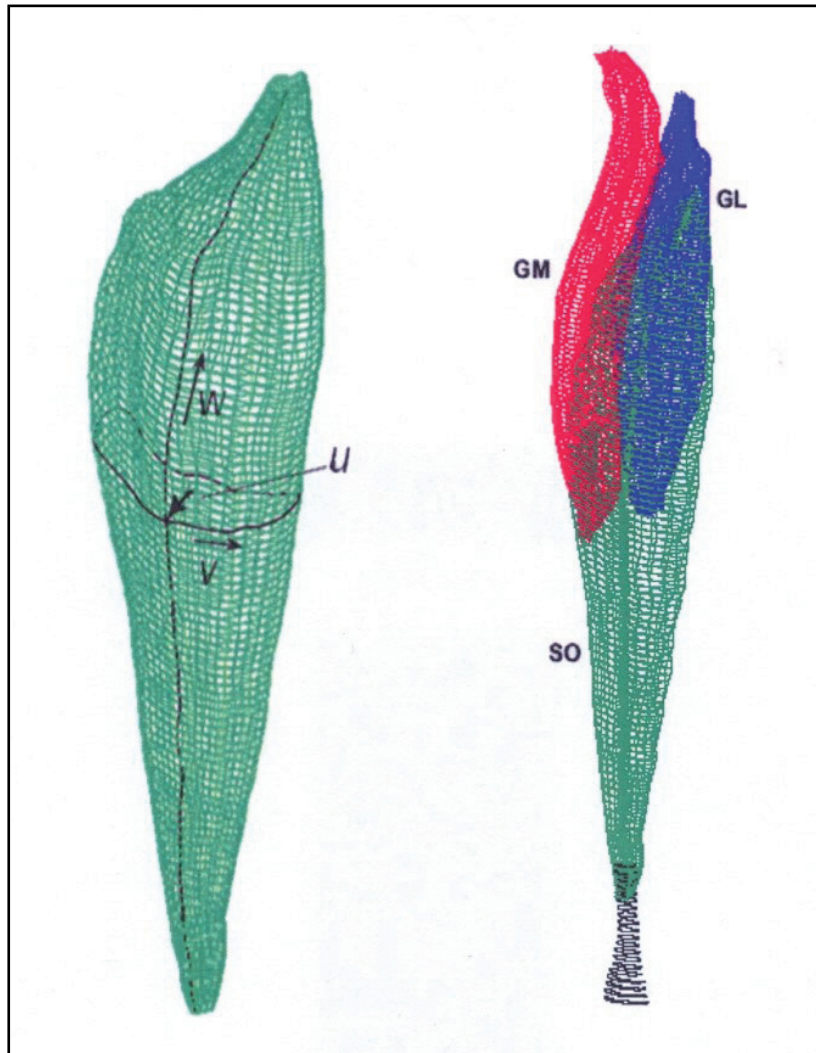


Abb. 2. Darstellung des Muskels als B-Spline Körper und Rekonstruktion des gesamten M. triceps surae mit Hilfe von B-Splines (M. soleus (SO), M. gastrocnemius medialis (GM), M. gastrocnemius lateralis (GL)).

Die Muskellänge wurde definiert als Abstand zwischen dem proximalen und distalen Ende jedes einzelnen Muskels. Anhand der MRT-Aufnahmen wird die Muskellänge als Abstand zwischen dem proximalsten und distalsten Bild, indem der jeweilige Muskel noch zu erkennen ist, gemessen.

Die dargestellte theoretische Überlegung hat gezeigt (Gleichung 2), dass das Muskelvolumen abhängig von der maximalen anatomischen Querschnittsfläche und der Muskellänge ist. Anhand einer Regressionsanalyse soll überprüft werden, ob innerhalb der gesamten Untersuchungsgruppe bzw. der einzelnen Gruppen ein Zusammenhang zwischen dem Muskelvolumen, der maximalen anatomischen Querschnittsfläche und der Muskellänge existiert und ob die maximale anatomische Querschnittsfläche und die Muskellänge geeignet zur Bestimmung des Muskelvolumens sind.

## Ergebnisse

Der Volumenanteil des SO am gesamten Volumen des M. triceps surae beträgt  $52 \pm 3 \%$ , der des GM  $32 \pm 2 \%$  und der des GL  $16 \pm 2 \%$ . Der Formfaktor  $p$  zeigt eine geringe inter individuelle Variabilität von  $6 \%$  für den SO, von  $4 \%$  für den GM und von  $7 \%$  für den GL (Tab. 1). Das Verhältnis zwischen maximalem anatomischen Querschnitt und Muskelvolumen zeigt ebenfalls eine geringe inter individuelle Variabilität. Durch die Hinzunahme der dritten Dimension, d. h. der Muskellänge, verringert sich die interindividuelle Variabilität allerdings weiter um  $2 \%$ .

Tab. 1. *Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) und Varianzkoeffizient (CV) des Formfaktors  $p$  und zum Vergleich des Verhältnisses zwischen Muskelvolumen ( $V_m$ ) und dem maximalen anatomischen Querschnitt ( $ACS_{Amax}$ )*

	$p = V_m / (ACS_{Amax} \cdot l_m)$		$V_m / ACS_{Amax}$	
	MW $\pm$ SD	CV [ % ]	MW $\pm$ SD [cm]	CV [ % ]
SO	<b>0:496 <math>\pm</math> 0:029</b>	<b>6</b>	<b>16:73 <math>\pm</math> 1:31</b>	<b>8</b>
GM	<b>0:592 <math>\pm</math> 0:026</b>	<b>4</b>	<b>16:44 <math>\pm</math> 1:36</b>	<b>8</b>
GL	<b>0:569 <math>\pm</math> 0:039</b>	<b>7</b>	<b>13:60 <math>\pm</math> 1:37</b>	<b>10</b>

M. gastrocnemius medialis (GM), M. gastrocnemius lateralis (GL).

Die mittlere quadratische Abweichung zwischen gemessenem und vorhergesagtem Muskelvolumen liegt im gleichen Bereich (Abb. 3), so dass eine Abschätzung des Muskelvolumens mit einem Fehler von  $4-7 \%$  möglich ist.

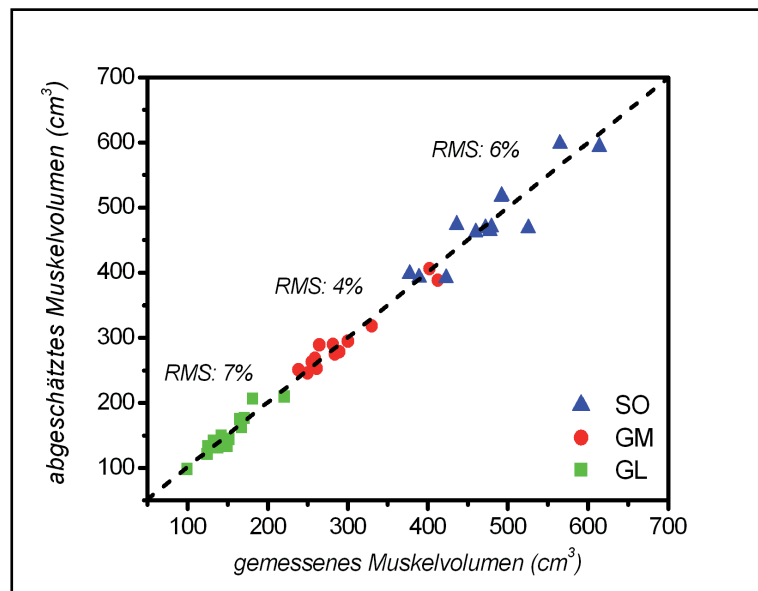


Abb. 3. Vergleich zwischen den gemessenen und abgeschätzten Volumina für den M. soleus (SO), M. gastrocnemius medialis (GM) und den M. gastrocnemius lateralis (GL). Liegen die Punkte direkt auf der durchgezogenen Linie, liefern beide Methoden die gleichen Ergebnisse

## Diskussion

Die Ergebnisse deuten deutlich darauf hin, dass die Form der Muskeln ähnlich ist und dass damit eine Abschätzung des Muskelvolumens anhand der beiden Parameter, maximaler anatomischer Querschnitt und Muskellänge, möglich ist. Die Muskellänge ist definiert als Abstand zwischen dem proximalen und distalen Ende jedes einzelnen Muskels, die entweder anhand von MRT Aufnahmen oder mit Hilfe des bildgebenden Ultraschalls, ohne großen Aufwand bestimmt werden kann. Die Position des maximalen anatomischen Querschnitt in Relation zur Unterschenkellänge (Abstand zwischen dem Tuberositas Calcanei und dem Tibia Plateau) zeigt eine geringe Variabilität ( ca. 4 %) zwischen den Probandinnen und Probanden. Zudem liegen die maximalen Querschnitte der beiden Mm. gastrocnemii etwa an der gleichen Stellen. Die Breite des 99 % Konfidenzintervalls liegt im Bereich von 6 - 8 % der Unterschenkellänge. Bei der mittleren Unterschenkellänge aus unserer Studie entspricht dies einem Bereich von 2.5 - 3.5 cm. Das bedeutet, dass eine MRT Sequenz mit einer Dicke von etwa 5 cm ausreichen sollte, um den maximalen anatomischen Querschnitt von beiden Mm. gastrocnemii zu bestimmen und eine weitere um den maximalen Querschnitt des M. Soleus zu bestimmen.

## Literatur

- Aagaard, P., Andersen, J.L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A.M., Wagner, A., Magnusson, S.P., Halkjaer-Kristensen, J. & Simonsen, E.B. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *The journal of physiology*, 534 (2), 613-623.
- Bamman, M.M., Newcomer, B.R., Larson-Meyer, D.E., Weinsier, R.L. & Hunter, G.R. (2000). Evaluation of the strength-size relationship in vivo using various muscle size indices. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (7), 1307-1313.
- Kristensen, J. & Simonsen, E. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *The journal of physiology*, 534 (2), 613-623.
- Mitsiopoulos, N., Baumgartner, R., Heymsfield, S., Lyons, W., Gallagher, D. & Ross, R. (1998). Cadaver validation of skeletal muscle measurement by magnetic resonance imaging and computerized tomography. *Journal of applied physiology*, 85 (1), 115-122.
- Ng-Thow-Hing, V. & Fiume, E. (2002). Application-specific muscle representations. *Graphics Interface*, 107-115.
- Shellock, F. (1989). Biological effects and safety aspects of magnetic resonance imaging. *Magnetic resonance quarterly*, 5 (4), 243-261.