

Planungsunterstützung für Pankreasoperationen bei Hyperinsulinismus von Kindern

J. Dornheim¹, B. Preim¹, U. Preim¹, K. Mohnike¹, O. Blankenstein²,
F. Füchtner², W. Mohnike³, S. Empting¹, K. Mohnike¹

¹Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

²Charite Universitätsmedizin Berlin

³Diagnostisch Therapeutisches Zentrum am Frankfurter Tor, Berlin
jana.dornheim@isg.cs.uni-magdeburg.de

Kurzfassung. Auf Basis von sechs PET/CT-Datensätzen des Pankreas wird eine Computerunterstützung für die Teilresektion der Bauchspeicheldrüse (Pankreas) bei fokalem Hyperinsulinismus von Kindern entwickelt. Ziel ist es, die Lokalisation des krankhaften Fokus im Pankreasgewebe präoperativ dreidimensional zu visualisieren, um so die Sicherheit des Eingriffs zu erhöhen. Die relevanten anatomischen Strukturen werden im CT segmentiert und anschließend dreidimensional visualisiert. Der im PET erkennbare Fokus wird in diese anatomische 3D-Visualisierung eingeblendet. Es zeigt sich eine klare Erkennbarkeit des Fokus in allen sechs Fällen.

1 Einleitung

Der kongenitale Hyperinsulinismus ist eine schwerwiegende Erkrankung der Bauchspeicheldrüse (Pankreas), die meist im ersten Lebensjahr diagnostiziert wird (ca. 15–20 Fälle p.a. in Deutschland). Aufgrund der andauernden Produktion von Insulin erleiden die Patienten häufig schwere Hypoglykämien, die zu statomotorischen und geistigen Entwicklungsstörungen führen können. Zur Vermeidung von Hirnschäden ist die schnelle differentialdiagnostische Abklärung mit entsprechender Therapieeinleitung notwendig. Hierbei ist die Unterscheidung zwischen fokaler und diffuser Form entscheidend: Bei der *fokalen* Form (30–40 % aller Fälle) ist das erkrankte Pankreasgewebe herdförmig abgrenzbar und daher einer Teilresektion zugänglich, d.h. nur der erkrankte Fokus im Pankreasgewebe wird entfernt.

Der Fokus ist für den Operateur nicht sichtbar und nur durch eine begleitende Gewebeuntersuchung darzustellen. Daher hängt die Therapieentscheidung sowie der Erfolg des Eingriffs maßgeblich davon ab, wie gut der Chirurg im Vorfeld der Operation die Lage des Fokus einschätzen kann. Liegt der Fokus beispielsweise ventral auf dem Pankreasschwanz auf, so kann ein schonender endoskopischer Zugang gewählt werden. Liegt er hingegen im Pankreaskopf in unmittelbarer Nähe empfindlicher anatomischer Strukturen (Gallengang, Pankreasgang, versorgende Gefäße) muss die Operationsplanung dies berücksichtigen (z.B. Y-Roux-Plastik).

Die neueste Entwicklung kombinierter PET/CT-Geräte ermöglicht die Identifizierung des Fokus und seine anatomische Lokalisation [1, 2]. Ziel dieser Arbeit war es, auf dieser Basis die Lage des Fokus im Pankreas zu visualisieren, um so die präoperative Planung zu unterstützen. Hierzu sollten die für die Operationsplanung relevanten anatomischen Strukturen aus den CT-Aufnahmen segmentiert und räumlich visualisiert werden. Anschließend erfolgte die Lokalisation des Fokus anhand der PET-Daten und seine Einblendung in die anatomische Visualisierung.

Die hier vorgestellte Methode der Fallaufbereitung und Visualisierung der segmentierten Strukturen wurde in ähnlicher Form erfolgreich zur Planung von Halsoperationen eingesetzt [3]. Für die Visualisierung von PET-Datensätzen wird (z.B. auf radiologischen Workstations) üblicherweise ein Volumenrendering eingesetzt. Eine gemischte Darstellung aus Volumenrendering und segmentierten Strukturen in Oberflächendarstellung wird in [4] untersucht.

2 Material und Methoden

2.1 Datenmaterial

Zur Untersuchung standen 6 PET/CT-Datensätze von Patienten mit fokaler Form des kongenitalen Hyperinsulinismus zur Verfügung. Diese Datensätze enthielten jeweils einen PET-Scan des Patienten, sowie zwei CT-Datensätze in derselben Tischposition, jeweils in portalvenöser und arterieller Phase (Abb. 2.1).

Tabelle 1 zeigt die Größe und Auflösung der verwendeten Datensätze. Eine Registrierung der PET-Daten mit den CT-Datensätzen war nicht erforderlich, da durch das kombinierte PET/CT-Aufnahmeverfahren beide Aufnahmen in derselben Tischposition angefertigt wurden. Es erfolgte daher nur noch eine lineare Interpolation des PET-Datensatzes, so dass hier die Voxelanzahl mit der des CT-Datensatzes übereinstimmte.

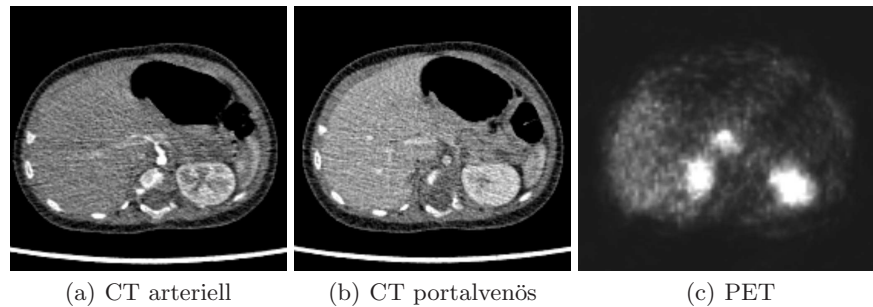


Abb. 1. Verwendete Datensätze: kombinierter PET/CT-Scan

Tabelle 1. Übersicht der verwendeten Datensätze

	Datensatzgröße		Auflösung (mm)	
	X/Y	Z	X/Y	Z
CT-Datensätze der Patienten 1, 3, 4, 5	512	56	1.367	3.0
CT-Datensätze des Patienten 2	512	126	0.977	1.3
CT-Datensätze des Patienten 6	512	367	0.977	0.5
PET-Datensätze aller Patienten	336	55	2.036	3.0

2.2 Segmentierung

Zunächst mussten die relevanten Strukturen im CT-Datensatz segmentiert werden. Die Zielstrukturen für die Segmentierung waren das Pankreas, die V. mesenterica superior, V. hepatica, V. lienalis aus dem portalvenösen CT-Datensatz, sowie die Aorta, Tr. coeliacus, A. mesenterica superior, Pfortader und A. lienalis aus dem arteriellen CT-Datensatz.

Zur Segmentierung der Blutgefäße war es möglich, diese in jeder dritten Schicht grob durch eine Kontur abzugrenzen und innerhalb dieser Kontur mit einem Schwellenwert die Feinsegmentierung vorzunehmen. Die Segmentierung des Pankreas musste aufgrund der geringen Kontrastierung von der segmentierenden Radiologin manuell durchgeführt werden. Pro Datensatz waren auf diese Weise ca. 20 Minuten zur Segmentierung erforderlich, die Segmentierung des Pankreas nahm dabei den größten Anteil ein (ca. 15 Minuten).

2.3 Visualisierung

Aus den Segmentierungsmasken der Blutgefäße und des Pankreas wurde mit Marching Cubes jeweils eine Iso-Oberfläche erstellt, die dreidimensional visualisiert wurde. Die Farbgebung erfolgte in Anlehnung an schematische Visualisierungen in medizinischen Atlanten. Die Blutgefäße wurden ohne Transparenz dargestellt. Für die Visualisierung des Pankreas war zur Erkennung des intrapankreatischen Gefäßverlaufs und des im Pankreasgewebe befindlichen Fokus ein hoher Transparenzgrad erforderlich. Um die hohe Transparenz auszugleichen, wurde diese Darstellung mit einer Silhouette kombiniert.

Für die Einblendung des Fokus in die anatomische Visualisierung erschien ein Volumenrendering des PET-Datensatzes (Abb. 2.3(a), (b)) naheliegend. Hierzu

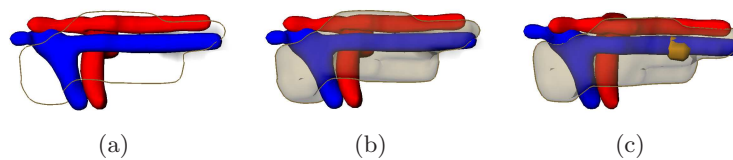


Abb. 2. Einblendung des Fokus: (a) Volumenrendering des Fokus (rechts oben im Bild) bei transparentem Pankreas, (b) Volumenrendering des Fokus bei semi-transparentem Pankreas (nicht erkennbar), (c) Fokus in der Oberflächendarstellung (gut erkennbar)

wurde dieser anhand des segmentierten Pankreas maskiert, so dass alle Voxel im PET-Datensatz, die außerhalb des Pankreas lagen, den Grauwert 0 erhielten. So liess sich der Fokus aus dem PET-Datensatz isolieren, während die anderen kontrastreichen Strukturen (z.B. Nieren, Blase) ausgeblendet wurden. Zur Darstellung wurde eine lineare Transferfunktion mit den Parametern *center* und *width* verwendet.

Alternativ zum Volumenrendering wurde eine Darstellung des Fokus mit einem manuell eingestellten Schwellenwert und einer daraus generierten Iso-Oberfläche des Fokus erprobt (Abb. 2.3(c)). Nach Aussage der beteiligten klinischen Partner (1 Kinderarzt, 1 Endokrinologe, 2 Kinderchirurgen) beträgt die Größe des Fokus i.A. 5 bis 6 mm; der Schwellenwert kann anhand dieser Maßgabe manuell eingestellt werden. Beide Visualisierungsoptionen wurden den klinischen Partnern zum Vergleich präsentiert.

3 Ergebnisse

Alle Datensätze konnten erfolgreich segmentiert werden. Die Segmentierungsgüte hing dabei vom Signal-Rausch-Verhältnis des Datensatzes ab und variierte stark. Aufgrund der geringen Größe der segmentierten Strukturen wirkt sich hier auch kleineres Rauschen erheblich auf die scharfe Begrenzung der Ränder aus.

Eine weitere Limitierung stellte die sehr schwache Kontrastierung des Pankreas im CT dar, aufgrund derer die Segmentierung des Pankreas selbst für einen Radiologen sehr schwierig und mit großer Unsicherheit behaftet ist. Dies wurde erschwert durch das mangelnde Fettgewebe der jungen Patienten, welches die Strukturgrenzen bei älteren Patienten klar kennzeichnet.

Hinsichtlich der Visualisierung des Pankreas wurde die semi-transparente Darstellung mit Silhouette von den klinischen Partnern befürwortet, da hier sowohl die Oberflächenform als auch die Begrenzung des Pankreas sichtbar ist.

Zur Einblendung des Fokus wurde das Volumenrendering als nicht geeignet empfunden. Gründe hierfür sind die unscharfe Begrenzung und der schwache Kontrast des Fokus im Vergleich zur Oberflächendarstellung der segmentierten Strukturen, auch bei sorgfältiger Einstellung der Parameter *center* und *width*. Als sehr zufriedenstellend wurde hingegen die Einblendung des Fokus als Iso-Oberfläche empfunden, so dass diese Darstellungsform für alle Fälle ausgewählt wurde.

Auf diese Weise konnten alle Fälle erfolgreich visualisiert werden. Abbildung 3 zeigt exemplarisch an drei Fällen die sehr gute visuelle Erkennbarkeit der Fo-

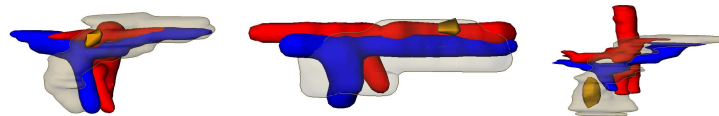


Abb. 3. Ergebnisse der Segmentierung und Visualisierung für die Patienten 2, 4 und 6

kuslokalisierung, sowie der Lage zu den relevanten Blutgefäßen und zum restlichen Pankreasgewebe.

4 Diskussion

Es wurde im Rahmen dieser Arbeit erstmals ein Prozess entwickelt, der es ermöglicht, aus PET/CT-Scans der Bauchspeicheldrüse von Kindern mit einer fokalen Form des kongenitalen Hyperinsulinismus eine Visualisierung der pathologischen Situation und des Operationsgebietes zu erstellen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Lokalisation der Läsion klar erkennbar ist und somit bereits im Vorfeld der Operation durch den Operateur eingeschätzt werden kann. Dies ermöglicht eine sicherere Operationsplanung und bessere Heilungschancen für die Patienten.

Dies bestätigt auch das Beispiel des Patienten 5, bei dem ein während der ersten Operation nicht gefundener Fokus im Pankreasschwanz erst in einer zweiten Nachoperation erfolgreich lokalisiert und entfernt werden konnte. Anhand des hier vorgestellten Prozesses konnte die Lokalisation des Fokus visualisiert werden und wäre so auch im Vorfeld der Operation klar erkennbar gewesen.

Eine Einschränkung ist aus medizinischer Sicht derzeit noch die Subjektivität der gewonnenen Darstellungen aufgrund der mit Unsicherheit behafteten Segmentierung des Pankreas. Diese Subjektivität existiert jedoch ebenso in der gegenwärtigen Planung anhand von 2D-Schnittbildern, die dem Chirurgen vom Radiologen erläutert werden. Die hier vorgestellte Computerunterstützung kann als Kommunikationsmittel des Radiologen mit dem Chirurgen betrachtet werden, welches die Subjektivität in der Beurteilung des Bildmaterials zwar nicht aufheben kann, jedoch eine bessere Visualisierung der Fokuslokalisierung bietet. Eine zunehmende Objektivierung des Planungsprozesses wird angestrebt und hängt von einer besseren Kontrastierung des Pankreasgewebes im CT ab.

Weitere Arbeiten in näherer Zukunft sollen sich auf die Interaktion des Chirurgen mit dem dreidimensionalen Patientenmodell fokussieren, um direkt den Planungsprozess zu unterstützen. Dazu gehören die Einführung von Vermessungswerkzeugen, aber auch die Planung von Resektionsebenen und die automatische Bestimmung von Restvolumina.

Literaturverzeichnis

1. Mohnike, et al. Proposal for a standardized protocol for 18F-DOPA-PET (PET/CT) in congenital hyperinsulinism. *Hormone Research*. 2006;66(1):40–2.
2. Shield JPH. Fluorine-18 L-3,4-dihydroxyphenylalanine positron emission tomography: Improving surgery and outcome in focal hyperinsulinism. *Hormone Research*. 2006;66(1):43–4.
3. Cordes J, et al. Preoperative segmentation of neck CT datasets for the planning of neck dissections. *Proc SPIE*. 2006.
4. Englmeier, et al. Virtuelle Bronchoskopie mit Positronenemissions- und Computertomographie-Bilddaten. *Jahresbericht des GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in der Helmholtz-Gemeinschaft*. 2005; p. 65–70.