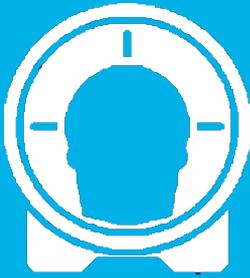




EBOOK

Bewegungsartefakte in der Radiologie:

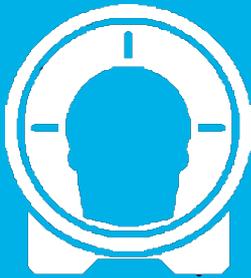
Ursachen, Folgen und Tipps zur Vermeidung



ZUSAMMENFASSUNG

In der Radiologie und besonders bei MRT Untersuchungen spielen Bewegungsartefakte eine wichtige Rolle. Unkooperative Patienten, herausfordernde Untersuchungspositionen oder zu wenig Zeit für eine korrekte Patientenlagerung führen dazu, dass es zu Bewegungsartefakten kommt. Diese haben einen grossen Einfluss auf die Bildqualität, erschweren so eine Auswertung der Ergebnisse und können sogar zu Fehldiagnosen führen. Daher sind Bewegungsartefakte eine häufige Ursache, dass einzelne Sequenzen oder gar ganze Untersuchungen wiederholt werden müssen. Ein Umstand, der sich auf viele Bereiche im Klinikalltag auswirkt. Die Patientenzufriedenheit sinkt, der Zeitaufwand pro Patient steigt, der Stress für Mitarbeiter nimmt zu und nicht zuletzt erhöhen sich auch die Kosten für Untersuchungen.

Um diesen Folgen entgegen zu wirken, gibt es verschiedene Ansätze wie z.B. Bewegungskorrektur-Software, unterschiedliche Lagerungshilfen oder Patientenkomfortsysteme. Das folgende eBook soll einen Überblick über Bewegungsartefakte geben, deren Auswirkungen auf den Arbeitsalltag beschreiben und mögliche Ansatzpunkte, wie man Bewegungsartefakten entgegenwirken kann, aufzählen.



BEWEGUNGSARTEFAKTE

Wie entstehen Bewegungsartefakte?

Bewegungsartefakte sind Bildstörungen, welche bei allen bildgebenden Verfahren wie beispielsweise bei CT- und MRT-Untersuchungen entstehen können. Bewegungsartefakte zählen neben Metall Artefakten, Annefakten, Phase Wrap und Linienartefakte zu den am häufigsten auftretenden Artefakten. Die Patienten sollten während der Untersuchung extrem still liegen bleiben, da jede noch so kleine unwillkürliche Bewegung des Patienten grosse Auswirkungen auf die Bildqualität und demnach auch auf die Untersuchungsergebnisse hat. Je nach Untersuchung dauert ein durchschnittliches MRT 15-45 min. Ein Zeitraum, in dem es grundsätzlich jedem Patienten schwer fällt sich nicht zu bewegen. Besonders aber Patienten in fortgeschrittenem Alter, mit neurodegenerativen Erkrankungen, Kinder oder Verletzte haben Probleme so lange Zeit regungslos zu liegen. Schon kleinste Bewegungen, wie Ausgleichsbewegungen um sich ein bisschen gemütlicher hinzulegen, Niesen, Husten, sich Kratzen aber auch der Herzschlag, die Atmung und Schlucken können gravierende Folgen für die Bildqualität haben.

Zu den häufigsten Bewegungsartefakten zählen Ghosting und Smearing bzw. Blurring Artefakte.

Beim Ghosting kommt es zu verschobenen Wiederholungen im Bild und es erscheinen „Geister“ neben, ober- oder unterhalb des Körpers.

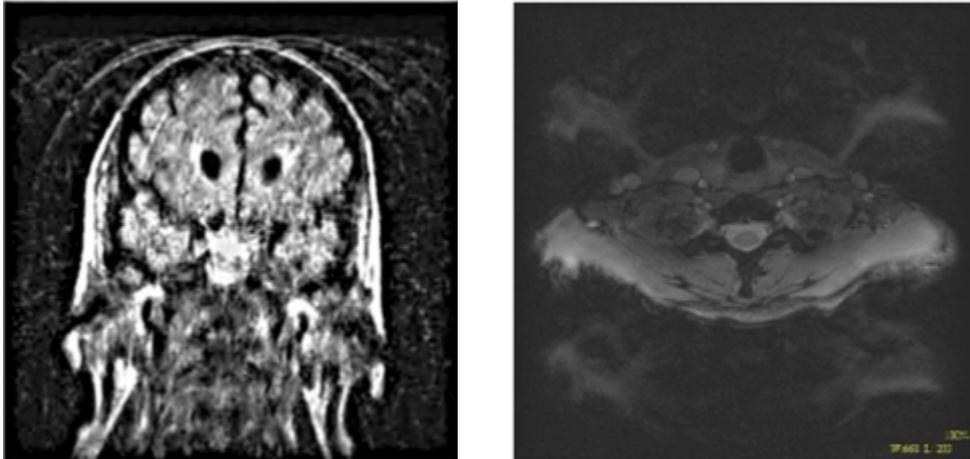


Abb. 1: Ghosting (a) Kopfskan, Bild von vorne, verschobene Wiederholungen im Bild; (b) Halsweichteile, bei starker Bewegung erscheinen „Geister“ oberhalb und unterhalb des Körpers.

Beim Smearing oder auch Blurring erscheint das Bild verschwommen oder es entsteht eine leichte Unschärfe.

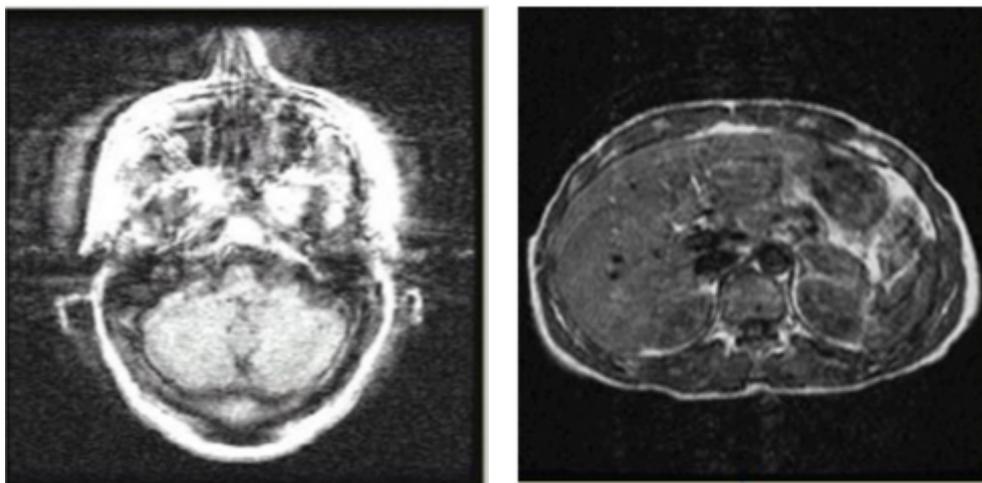


Abb. 2: Smearing/Blurring (a) Kopfskan (Aufsicht), das Bild erscheint durch Bewegung verschwommen. (b) Scan vom Brust- und Bauchbereich. Der Patient hat zum falschen Zeitpunkt die Luft angehalten, es erscheint eine leichte Unschärfe

Bei welchen Untersuchungen bzw. Patienten treten Bewegungsartefakte auf?

Bei dieser Frage denkt man wahrscheinlich am ehesten an Untersuchungen in unangenehmen Positionen, die lange dauern und welche bei eher unkooperativen Patienten oder Kindern durchgeführt werden. Man könnte meinen, dass in ambulanten Praxen weniger Bewegungsartefakte auftreten, da die Patienten oft eher fit und mobil sind. Sie erscheinen zu ihrem Termin, legen sich ins MRT und gehen dann wieder. Gerade diese Patienten machen den Anschein, dass sie ohne Probleme 15 - 45 Minuten still liegen bleiben können. Leider ist dem nicht immer so.

Die Studie der Autoren Andre et al., welche sich mit Bewegungen im MRT auseinandersetzte, zeigte, dass wiederholte oder abgebrochene Sequenzen im Verlauf einer Untersuchung vermehrt vorkommen - und das vollkommen unabhängig von Kooperation oder „Gebrechlichkeit“ der Patienten. In den ersten 5 Minuten kommt es anteilmässig zu einer relativ hohen Anzahl an wiederholten oder abgebrochenen Sequenzen, häufig aufgrund von Patienten, welche eine MRT-Untersuchung grundsätzlich nicht tolerieren z.B. aufgrund von Klaustrophobie. Dauert eine Untersuchung länger als 11 Minuten, nehmen Wiederholungssequenzen und abgebrochene Sequenzen immer mehr zu. Die Unruhe steigt, die Lage wird zunehmend unangenehmer und spontane Zuckungen treten vermehrt auf.

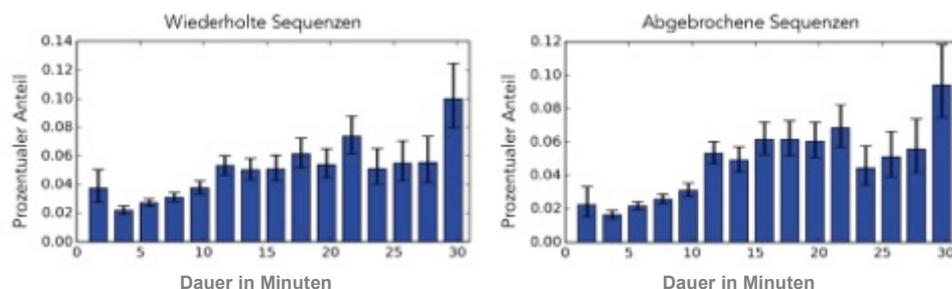


Abb. 3: Im Verlaufe des Untersuchungsablaufs nehmen wiederholte und abgebrochene Sequenzen anteilmässig immer weiter zu.

Diese Ergebnisse zeigen, dass das Thema Bewegungsartefakte nur bedingt mit dem Patientenkontext in Zusammenhang gebracht werden kann, vielmehr treten Wiederholungssequenzen mit zunehmender Untersuchungsdauer häufiger auf.

Welchen Einfluss haben Bewegungsartefakte?

Schon kleinste Bewegungen im MRT führen zu einer Verminderung der Bildqualität und damit zu Einbußen in der Auswertbarkeit der Daten. Deswegen kommt es in solchen Fällen häufig zu Wiederholungssequenzen welche zusätzliche Zeit in Anspruch nehmen. Und Zeit ist bekanntlich Geld.

Aber nicht nur der Umsatz sinkt und die Kosten steigen, sondern die Wartezeit für Patienten steigt, die Überstunden häufen sich, der Stress nimmt zu und die Zufriedenheit der Patienten und des Personals sinkt.

Die verfügbare Zeit für eine adäquate Lagerung und Immobilisierung des nächsten Patienten nimmt ab und die Bewegungsartefakte nehmen dadurch tendenziell zu. Ein Teufelskreis!

Von den erwähnten Einschränkungen ist die Patientenzufriedenheit ein Kriterium, welches direkt messbar ist und unmittelbaren Einfluss auf die Arbeitsmoral und auf das Umfeld hat. Basierend auf einer Umfrage von 6500 Patienten, welche von der Brown University's Warren Alpert Medical School durchgeführt wurde, beeinflussen Wartezeiten die Patientenzufriedenheit enorm (Dibble et al., 2017).

Darauf aufbauend sind, einer kürzlich veröffentlichten Studie der Emory University in Atlanta zufolge, etwa 17% aller Scans in irgendeiner Art und Weise von unerwarteten Vorkommnissen betroffen und führen so zu Verzögerungen im Klinikalltag (Sadigh et al., 2017). Die Ursache für diese Ereignisse waren in der Mehrzahl patientenbezogene Vorkommnisse während der Untersuchung (55%) und dabei

allen voran Patientenbewegungen, gefolgt von Klaustrophobie und Unbehagen der Patienten.

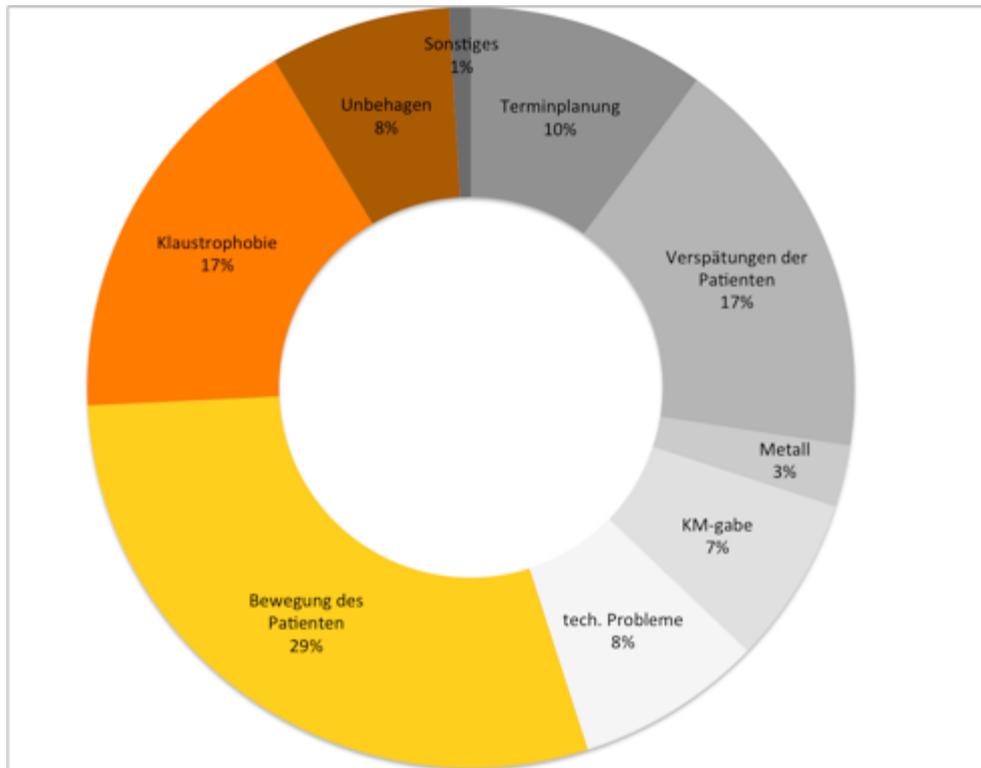


Abb. 4: Für mehr als 50% der unerwarteten Ereignisse sind die patientenbezogenen Ereignisse während der Untersuchung verantwortlich, von diesen entstehen wieder 53% aufgrund von Bewegungen der Patienten.

Demnach haben Bewegungen im MRT einen direkten Einfluss auf die Wartezeiten und die Zufriedenheit der Patienten.

Aber nicht nur die Patientenzufriedenheit sinkt. Heutzutage wird eine Institution und deren Investitionen immer mehr auf der Grundlage der Wirtschaftlichkeit bewertet. Wie kann ich in weniger Zeit, mit möglichst wenigen Mitteln, einen höheren Durchfluss an Patienten generieren und damit den Profit steigern?

Eine Arbeitsgruppe an der Universität Washington hat sich mit dieser Fragestellung näher auseinandergesetzt (Andre et al., 2015). Sie haben 192 MRT-Untersuchungen und 1238 darin enthaltene Sequenzen analysiert.

Sie fanden heraus, dass es in annähernd 17% der Sequenzen (203) zu schweren bis mittelschweren Bewegungsartefakten kam, welche eine radiologische Interpretation verun-

mögliche oder zumindest extrem erschwerte. Bei weiteren 42.3% (524) der Sequenzen kam es zu milden Bewegungsartefakten. Ihrer Aussage zufolge waren in annähernd 60% der Sequenzen Bewegungsartefakte unterschiedlicher Ausprägung zu finden.

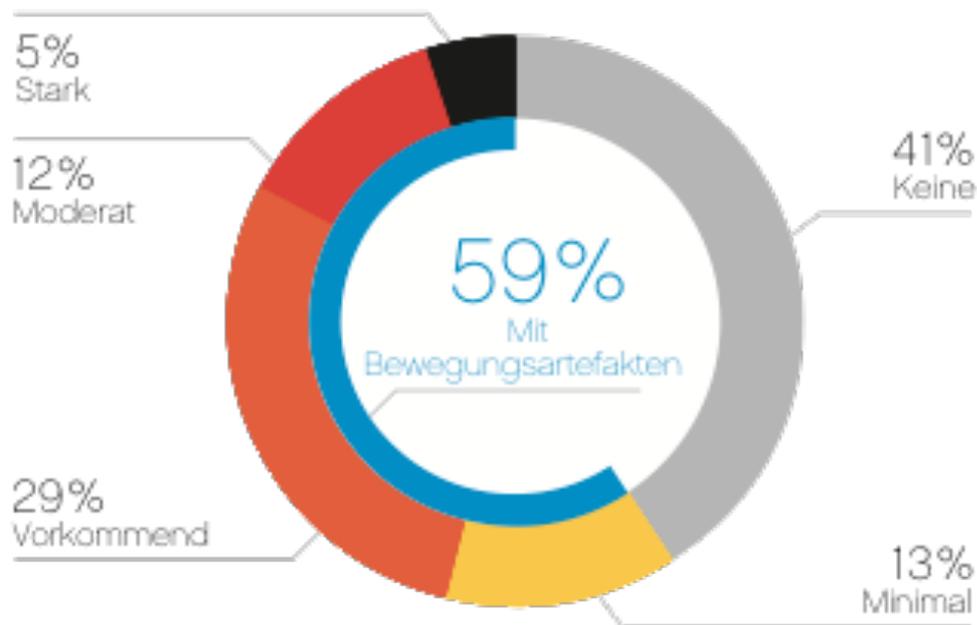


Abb. 5: Verbreitung und Verteilung von Bewegungsartefakten

Wiederholungen einzelner Sequenzen traten bei etwa jedem 5. MRT auf. Sie berechneten anhand der landesüblichen Krankenkassensätze den Einfluss dieser Wiederholungssequenzen auf das jährliche Budget. Eine Scannerminute kostet demnach knapp \$10. Eine durchschnittliche Sequenz dauert etwa 4 min und 10 Sekunden, kostet also ca. \$40. Das hört sich erst einmal nach nicht so viel an. Wenn man dies aber mit der Anzahl an Wiederholungen in einer Woche multipliziert und auf ein Jahr extrapoliert, kommt man auf einen Betrag von \$115.000 pro Jahr pro Scanner.

Patientenzufriedenheit, Zufriedenheit der Mitarbeiter, Umsatz und Kosten. Das allein sind schon wichtige Gründe, um über Massnahmen zur Reduktion von Bewegungsartefakten nachzudenken, aber wie sieht es mit dem Einfluss auf eine korrekte Diagnose aus? Zweifelsohne spielt die Radiologie für klinische Entscheidungen eine grosse Rolle und die Beurteilung der Radiologen hat einen direkten Einfluss auf die Diagnose und Therapie der Patienten.

Forscher der Harvard-Universität konnten zeigen, dass Bewegungen der Patienten während der Untersuchung die Interpretation der MRT-Ergebnisse in die falsche Richtung lenken können (Reuter et al., 2015). So können z.B. bestimmte artefaktreiche Strukturen auffälliger oder auch weniger auffällig erscheinen als sie tatsächlich sind. Am Beispiel von neurodegenerativen Erkrankungen, wie Parkinson oder Alzheimer fanden sie heraus, je grösser die Kopfbewegungen während der MR- Untersuchung sind, desto mehr verringert sich das Volumen der grauen Substanz und die Hirnrinde erscheint schmaler. Es kann zu einer verschobenen, falschen Einschätzung der quantitativen Hirnanalyse kommen. Eine Atrophie der grauen Substanz stellt sich in einem MR-Bild als verschwommene Stellen dar, welche sehr leicht mit Blurring Artefakten aufgrund von Bewegungen zu verwechseln sind. Diese Bewegungsartefakte können vor allem bei neurodegenerativen Erkrankungen zu Fehldiagnosen, bzw. Fehleinschätzungen des Schweregrads der Erkrankung führen. Deswegen ist hier ein ganz klarer Ausschluss aller Bilder wichtig, welche sowohl in der visuellen Qualitätskontrolle Mängel aufweisen, als auch Bilder, welche vom System aus mit Warnungen versehen sind. Dies stellt gerade für Patienten, welchen es schwerfällt, über die gesamte Dauer der Untersuchung ruhig liegen zu bleiben, ein erhebliches Problem dar, da sich der Datensatz extrem minimiert.

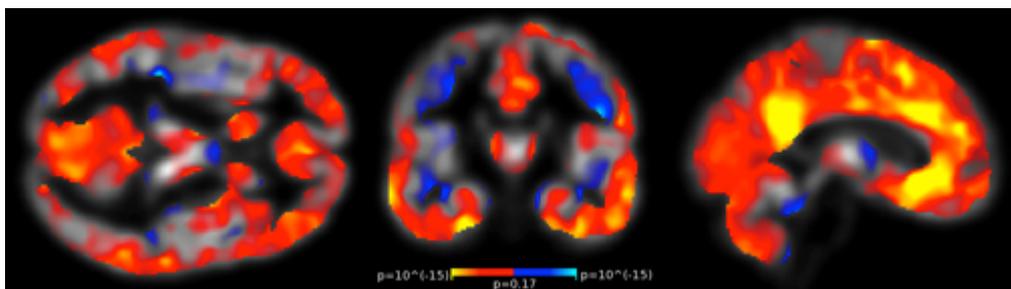
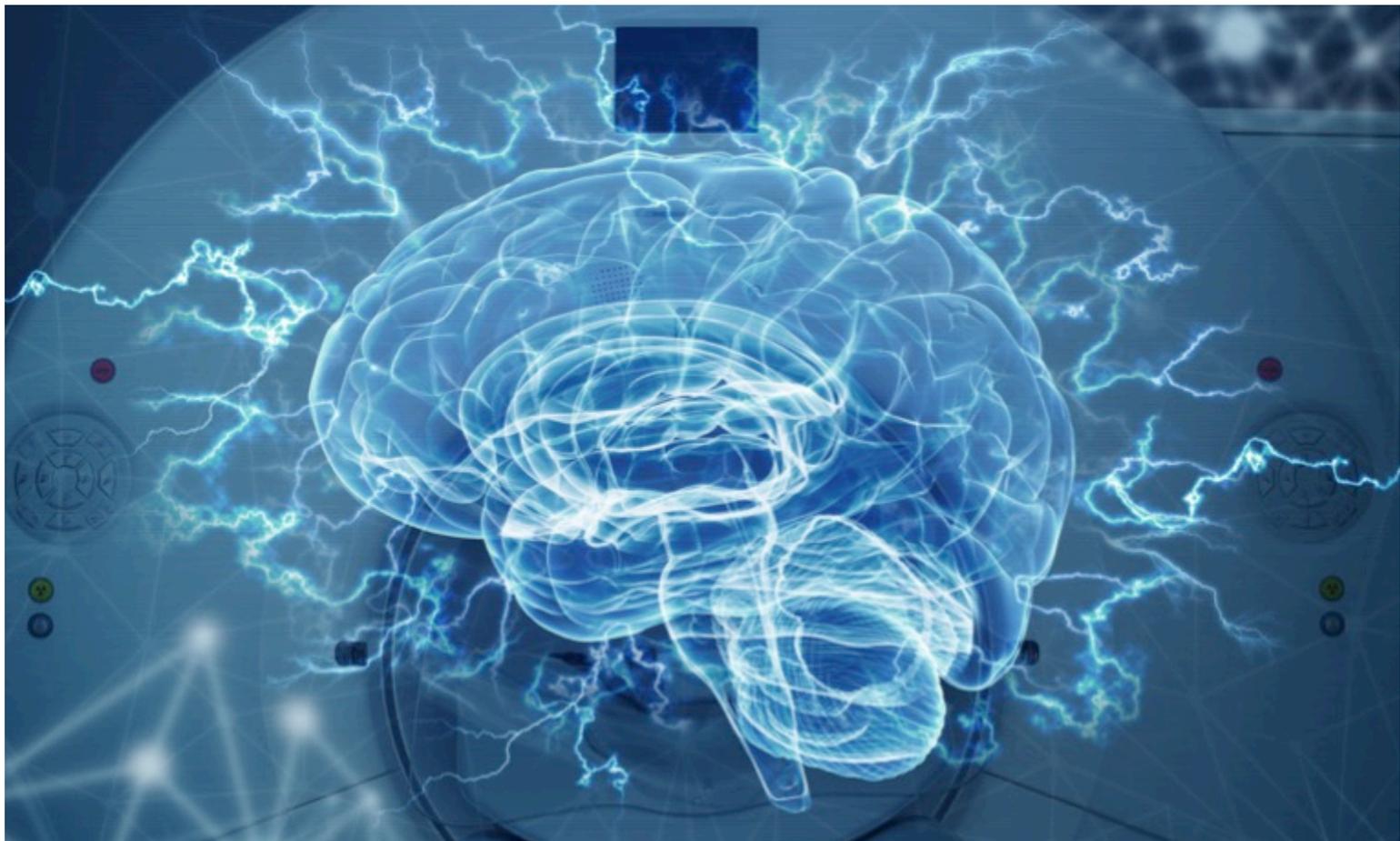


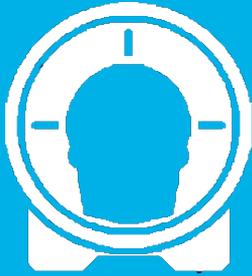
Abb. 6: Volumenveränderung der grauen Substanz bei vermehrter Bewegung. (rot und gelb: Volumenverlust, blau Volumenzunahme bei Bewegung) Reuter et al., 2015, NeuroImage

Einflüsse in der Forschung

Einen weiteren Effekt, welcher sich erschwerend auf die Interpretation der Daten auswirkt, kann im fMRT erscheinen.

Bewegungen beeinträchtigen dabei den sogenannten BOLD (blood oxygenation level dependent) - Effekt, welcher ausgenutzt wird, um Hirnareale mit hoher Aktivität während spezifischer Aufgaben zu bestimmen. Im fMRT wird das Verhältnis von sauerstoffreichem zu sauerstoffarmem Blut gemessen wodurch Rückschlüsse auf die Hirnaktivität in verschiedenen Arealen gezogen werden können. Bereiche mit besonders hoher neuronaler Aktivität benötigen demnach viel Sauerstoff, welcher gemessen werden kann. Kommt es allerdings zu willkürlichen oder unwillkürlichen Bewegungen des Patienten, führt dies ebenfalls zu einer Erhöhung neuronaler Aktivität. Es ist also schwierig zwischen tatsächlich funktionaler Aktivität und bewegungsbedingter Aktivität zu unterscheiden (Haller et al., 2009).





VERMEIDUNG VON BEWEGUNGSARTEFAKTEN

Um die oben beschriebenen Auswirkungen von Bewegungsartefakten zu verringern, gibt es unterschiedliche Ansatzpunkte.

Eine Möglichkeit besteht in der Verwendung von Softwareprogrammen, welche während der Datenverarbeitung Bewegungsartefakte identifizieren und mittels bestimmter Algorithmen im Nachgang korrigieren. Da der Fokus jedoch auf der Vermeidung von Bewegungsartefakten liegen sollte, wird an dieser Stelle nicht genauer darauf eingegangen.

Dahingegen sind Patientenkomfortsysteme ein Ansatz, um Patienten von der häufig ungewohnten Situation abzulenken, zu beruhigen und somit Bewegungsartefakte von Beginn an zu vermeiden. Dabei wird zum einen die Untersuchungsumgebung, beispielsweise durch eine entspannende Raumbeleuchtung, so angenehm wie möglich gestaltet, sodass das generelle Befinden und die Toleranz für die Untersuchung bei den Patienten steigt. Für Kinder werden sogar ganze „Abenteuerwelten“ geschaffen, welche in das MRT/CT und den Raum integriert sind, sodass die Untersuchung für sie in

eine Art Spiel verwandelt wird. Darüberhinaus wird zunehmend auf sogenannte In-Bore Lösungen zurückgegriffen, wobei der Patient im Scanner liegend in den Untersuchungsablauf involviert und fortlaufend über den Fortschritt informiert wird. Zusätzlich wird dem Patienten ein „Unterhaltungsprogramm“ mit Ton und Bild angeboten.

Nichtsdestotrotz wird auch heute noch bei unkooperativen Patienten und vor allem bei Kindern auf eine Sedierung zurückgegriffen, um einen reibungslosen und bewegungsfreien Ablauf zu gewährleisten.



Abb. 7: CT Gerät in einer pädiatrischen Klinik

Mitunter der wichtigste Ansatzpunkt betrifft den direkten Umgang mit dem Patienten. Eine gute Aufklärung und ruhige Kommunikation im Vorfeld der Untersuchung ist dabei ebenso bedeutsam wie die adäquate, sprich stabile und bequeme Lagerung des Patienten. So kann beispielsweise bei Klaustrophobie-Patienten eine ausführliche Aufklärung und verkürzte Wartezeit besonders hilfreich sein, um die Anspannung der Patienten nicht noch zusätzlich zu steigern.

Für eine adäquate Patientenlagerung sind eingespielte Arbeitsabläufe und die Wahl der richtigen Hilfsmittel unerläss-

lich. Diese haben zum Ziel, dass der Patient bequem auf dem Tisch liegt, stabil ausserhalb der Spule gelagert und innerhalb der Spule angenehm fixiert ist. So können die Untersuchungsergebnisse positiv beeinflusst und der Komfort für den Patienten gesteigert werden.

Dafür gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Systemen, welche alle ihren spezifischen Zweck erfüllen und häufig in Kombination verwendet werden.

Bei der Wahl der richtigen Lagerungshilfsmittel sollte insbesondere auf folgende Aspekte geachtet werden:

- Mit welcher Modalität muss die Lagerungshilfe kompatibel sein (MR-safe, Röntgendurchlässigkeit, etc.)?
- In welchen Situationen kommt die Lagerungshilfe zum Einsatz (innerhalb von Spulen/Schalen, auf dem Patiententisch als Unterlage, etc.)?
- Welches Ziel soll bei der Lagerung erreicht werden (Komfort, Stabilität, Erzielung einer spezifischen Position, etc.)?
- Welchen besonderen Belastungen ist die Lagerungshilfe ausgesetzt (Verunreinigungen, Gewicht/Kraft, Keime, etc.)?
- Wie kann eine dauerhaft zuverlässige Hygiene gewährleistet werden und welche Desinfektionsmittel können dafür verwendet werden?

(mehr dazu unter <http://blog.pearl-technology.ch>)

Im Folgenden sollen die unterschiedlichen Systeme vorgestellt werden:

SCHAUMSTOFFE

Schaumstoffe können innerhalb und ausserhalb der Spule verwendet werden. Ausserhalb der Spule finden die grösseren, festeren sowie formstabileren Schaumstoffe Anwendung. Sie dienen der Lagerung des Patienten. Innerhalb der Spule werden die weicheren und kleineren Schaumstoffe

oftmals dazu genutzt Zwischenräume in den verschiedenen MR-Spulen auszufüllen. Die Schaumstoffe werden fest anliegend zwischen die Spule und den Patienten gedrückt. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass keine Druckpunkte generiert werden.

AUFBLASBARE SYSTEME - PEARLTEC

Die Pearltec Lösungen, wie beispielsweise die MULTIPAD Produktfamilie und CT HeadFix, sorgen für eine individuelle und gute Fixierung innerhalb von Spulen und Schalen. Die Lagerungshilfen bestehen aus 2 Kammern, wovon eine mit Polystyrolperlen gefüllt ist und die andere mit Hilfe einer Handpumpe mit Luft befüllt werden kann. Dadurch können die Kissen unterschiedlich grosse Hohlräume zwischen Patient und Spulen/Schalen überbrücken. Der Druck kann individuell an den Patienten angepasst werden und so den idealen Grad der Fixierung ermöglichen. Aufgrund der Perlen lagert sich die komplette Oberfläche des Kissens an die anatomischen Strukturen des Patienten an und gewährleistet so eine gleichmässige Druckverteilung ohne Druckstellen (Haller et al., 2018).

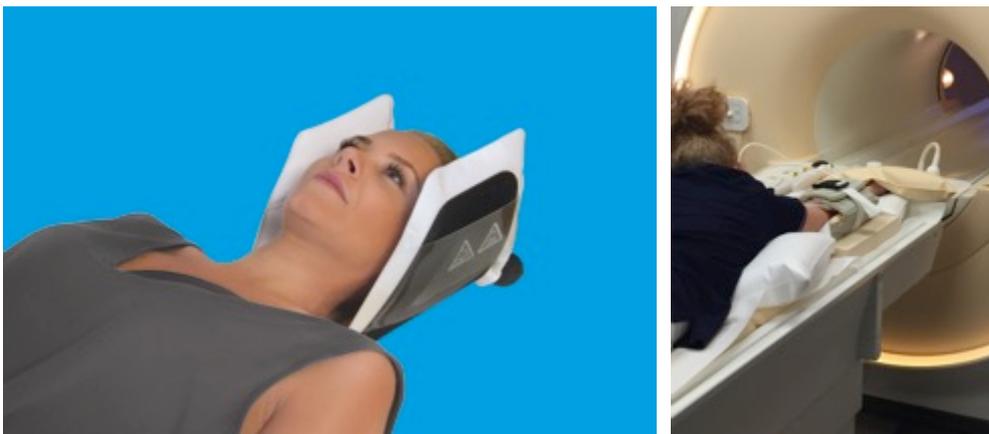


Abb. 8: Anwendungsbeispiele Patientenlagerung: Die Kombination geeigneter Lagerungshilfen ist entscheidend für eine stabile und komfortable Patientenlagerung. **Bild 1:** Computertomographie: Kopffixierung mit dem CT HeadFix in Schale. **Bild 2:** Superman-Position: Kombination aus MULTIPAD, PearlFit und Sandsack

PEARLFIT LAGERUNGSHILFEN

Die PearlFit Lagerungshilfen sind in zahlreichen Formen und Grössen verfügbar und können bei allen radiologischen Untersuchungen zur angenehmen und zugleich stabilen Patientenlagerung innerhalb und ausserhalb des Untersuchungsbereiches verwendet werden. Je nach Grösse und Form können Extremitäten bequem unterlegt werden oder die Patienten druckstellenfrei und zugleich stabil in Bauch- oder Seitenlage gebracht werden. Das verwendete Material ist auch mit stark alkoholhaltigen Reinigungsmitteln (bis zu 70%) abwischbar und die Oberfläche bleibt dauerhaft beständig wodurch eine hohe Langlebigkeit der Produkte erreicht wird.

VAKUUM-MATTEN

Vakuum-Matten sorgen für eine gute und stabile Immobilisierung. Sie sind gerade bei Notfällen mit möglicher Rückenmarkverletzung das Mittel der Wahl zur stabilen Immobilisierung. Während der Untersuchung werden sie aufgrund ihrer Grösse am ehesten ausserhalb der Spule zur Lagerung verwendet, z.B. bei Schulter- oder Sprunggelenksuntersuchungen.

SANDSÄCKE

Sandsäcke eignen sich gut für die Positionierung und Stabilisierung ausserhalb der Spulen. Sie dienen sowohl als Unterstützung zur Fixierung bei Untersuchungen mit Flexspulen als auch der Unterdrückung von Ausgleichsbewegungen durch Ermüdung der Muskeln.

GURTE / BÄNDER / IFIX:

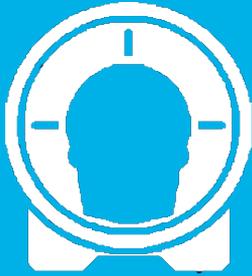
Gurte und Bänder kommen insbesondere bei unruhigen Patienten zum Einsatz, um ein abruptes Aufsetzen/ Hochschnellen der Patienten zu verhindern und eine erfolgreiche Durchführung der Untersuchung zu gewährleisten. Analog zu den relativ grossflächigen Gurten werden dünnere Bänder zur Fixierung von Gliedmassen oder Köpfen verwendet. Eine hygienische, stabile und flexibel-anwendbare Alternative zu den altbekannten Gurtsystemen bietet das sogenannte iFix-System. Beim iFix-System wird ein weiches aber zugleich sehr belastbares Einweg-Vliesmaterial als Gurt an einem Mikroklet angebracht.

SPEZIALLÖSUNGEN FÜR PÄDIATRISCHE RADIOLOGIE - BABYFIX COCOON

MRT Untersuchungen bei Neugeborenen sind keine Alltäglichkeit und stellen hinsichtlich einer sicheren und stabilen Lagerung besondere Herausforderungen an Eltern und das klinische Fachpersonal aus den Bereichen Neonatologie, Anästhesie und Kinderradiologie dar. Mit spezifischen Lösungen wie dem BabyFix Cocoon werden nicht nur eine stabile Fixierung und einfache Handhabung gewährleistet sondern ideale Bedingungen für einen sicheren und behutsamen Untersuchungsablauf geschaffen.



Abb. 9: Anwendungsbeispiele Patientenlagerung: Die Kombination geeigneter Lagerungshilfen ist entscheidend für eine stabile und komfortable Patientenlagerung. **Bild 1:** Pädiatrische Radiologie: Vakuum bei Neugeborenen im MRT **Bild 2:** Interventionelle Radiologie: Kombination PearlFit mit iFix



FAZIT

Es ist kaum vorstellbar, was ein kleines Zucken im falschen Moment für Auswirkungen haben kann. So haben Bewegungsartefakte nicht nur einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit ihrer radiologischen Abteilung, sondern beeinträchtigen auch die Zufriedenheit ihrer Patienten oder erschweren die Interpretation der Daten erheblich. Mit relativ einfachen Mitteln ist es möglich, grosse Auswirkungen zu verhindern. Eine stabile und bequeme Lagerung der Patienten kann ihren Arbeitsablauf vereinfachen, die Kosten senken und die Patienten zufriedener machen.

ÜBER UNS

Die Pearl Technology AG hat sich auf die Entwicklung innovativer Lagerungshilfen in der Medizin, insbesondere in den Bereichen Radiologie und Radiotherapie spezialisiert.

Die patentierte Technologie, welche Ihren Ursprung in der Forschung der Rheumatoiden Arthritis mittels hochauflösenden pQCT-Systemen hatte, zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Variabilität, eine gleichmässige Druckverteilung und eine adaptive Fixierung aus. Sie wurde in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und renommierten Universitätsspitalern entwickelt.

Als ISO 13485 zertifiziertes medizintechnisches Unternehmen setzt die Pearl Technology AG auf biokompatible, gut zu reinigende Materialien und eine qualitativ hochwertige Verarbeitung in der Schweiz.

Nebst der Entwicklung eines breiten Spektrums an Lagerungshilfen, konnten bereits einige Produkte als kundenspezifische Lösungen gemeinsam mit internationalen Geräteherstellern realisiert werden.

Pearl Technology AG
Wiesenstrasse 33
8952 Schlieren
Tel +41 43 535 08 40
Fax +41 91 912 60 09
info@pearl-technology.ch



QUELLEN

Martin Reuter, M. Dylan Tisdall, Abid Qureshi, Randy L. Buckner, Andre J. W. van der Kouwe, Bruce Fischl, Neuroimage, 2015 February
Head Motion during MRI Acquisition Reduces Gray Matter Volume and Thickness Estimates

Jalal B. Andre, Brian W. Bresnahan, Mahmud Mossa-Basha, Michael N. Hoff, C. Patrick Smith, Yoshimi Anzai, Wendy A. Cohen, J Am Coll Radiol, 2015
Towards Quantifying the Prevalence, Severity, and Cost Associated With Patient Motion During Clinical MR Examinations

Gelareh Sadigh, Kemberly E Applegate, Amit M Saindane, J Am Coll Radiol, 2017
Prevalence of Unanticipated Events Associated with MRI Examinations: A Benchmark for MRI Quality, Safety, and Patient Experience

Sven Haller, Andreas J Bartsch, Eur Radiol 2009
Pitfalls in fMRI

James Markland, Imaging Economics, 2014 October
Less Repeat Exams: It's all in the Positioning

Jalal B. Andre, Thomas Amthor, Christopher S. Hall, Michael N. Hoff, Wendy Cohen, Norman J. Beauchamp
Correlating the Radiological Assessment of Patient Motion with Exam Workflow and with the Incidence of Terminated and Repeat Sequences Documented by Log Files.

Jalal B. Andre, Thomas Amthor, Christopher S. Hall, Michael N. Hoff, Wendy Cohen, Norman J. Beauchamp
Interrogating Log File Data to Understand the Effect of Exam Workflow in Predicting Terminated and Repeat Sequence Occurrence.

Dibble EH, et al, Journal of the American College of Radiology, 2017
Psychometric Analysis and Qualitative Review of an Outpatient Radiology-Specific Patient Satisfaction. Survey: A call for Collaboration in validating a Survey Instrument

Haller S, Burke M, Mueller TL, Neuroradiology, 2018
MR skin signal loss effect/artifact.