

Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 72 (1983)

Heft: 1-2

Artikel: Radiotherapie des Krebses mit negativen Pionen

Autor: Blaser, J.P.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308620>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 28.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Radiotherapie des Krebses mit negativen Pionen

von J.P. BLASER,
Schweizerisches Institut für Nuklearforschung,
CH-5234 Villigen

Schon gegen Ende der Fünfzigerjahre wurde erkannt, daß bestimmte Krebstumoren mit negativ geladenen Pi-Mesonen (Pionen) aller Voraussicht nach wirkungsvoller bestrahlt werden können als mit den herkömmlichen Methoden und somit ideale Teilchen für die Radiotherapie wären. Von Anfang an wurde deshalb am SIN dem möglichen Einsatz von Pionen in der Radiotherapie große Bedeutung beigemessen.

Das Grundproblem der Radiotherapie besteht darin, die etwa 10^9 bis 10^{10} Zellen eines Tumors bis auf die letzte zu zerstören, ohne die Zellen des umliegenden gesunden Gewebes so zu schädigen, daß diese ihre Fähigkeit verlieren, das zerstörte Gebiet neu zu besiedeln. Ein Grund, welcher oft den Erfolg der herkömmlichen Therapien in Frage stellt, ist der «Sauerstoffeffekt», nämlich die erhöhte Radioresistenz von Zellen, die ungenügend mit Sauerstoff versorgt sind. Solche gibt es beispielsweise im Inneren von schnell wachsenden Tumoren. Die herkömmlichen Gamma- und Röntgenstrahlen wirken über die im bestrahlten Material erzeugten Elektronen. Diese sind zufolge ihrer großen Geschwindigkeit leicht ionisierend und schädigen sauerstoffarme Zellen weniger als sauerstoffreiche. Eine günstige Wirkung der negativen Pionen ist ihre Fähigkeit, sauerstoffarme, resistente Tumorzellen selektiv schädigen zu können. Ihre relativ langsamen Kerentrümmer sind dicht ionisierend und vernichten sauerstoffarme und -reiche Zellen mit annähernd der gleichen Wirksamkeit.

Da ein Tumor stets in gesundem Gewebe eingebettet und außerdem vielfach von gesunden Gefäßen und Zellen durchsetzt ist, kann sich neben der gewollten krebsvernichtenden Wirkung von Strahlen eine unerwünschte Schädigung des gesunden Gewebes einstellen. Ein weiterer medizinisch wichtiger Vorteil der negativen Pionen besteht darin, daß ihre Reichweite genau definiert werden kann. Bei der Bestrahlung von tiefliegenden Tumoren wird das Oberflächengewebe kaum geschädigt.

Klinisch anwendbare Dosisraten von Pionenstrahlen können nur Protonenbeschleuniger von 0.5 bis 1 GeV und hoher Intensität liefern. Im heutigen Zeitpunkt stehen bei LAMPF in Los Alamos (USA), TRIUMF in Vancouver (Kanada) und am SIN in Villigen Beschleuniger in Betrieb, die diesen Anforderungen entsprechen. An allen drei Instituten – auch «Mesonenfabriken» genannt – wurden medizinische Anlagen für die Pionentherapie gebaut, und die ersten klinischen Bestrahlungen in Los Alamos scheinen die in die neue Methode gesetzten Erwartungen zu bestätigen.

Abb. 2: Ein Patient wird nach der Behandlung unter Betreuung eines Arztes und einer Krankenschwester aus der zylindrischen Bestrahlungskammer ausgefahren. Während der Behandlung stehen alle Patienten in ständiger Sprechverbindung mit der Krankenschwester und werden außerdem am Bildschirm überwacht.

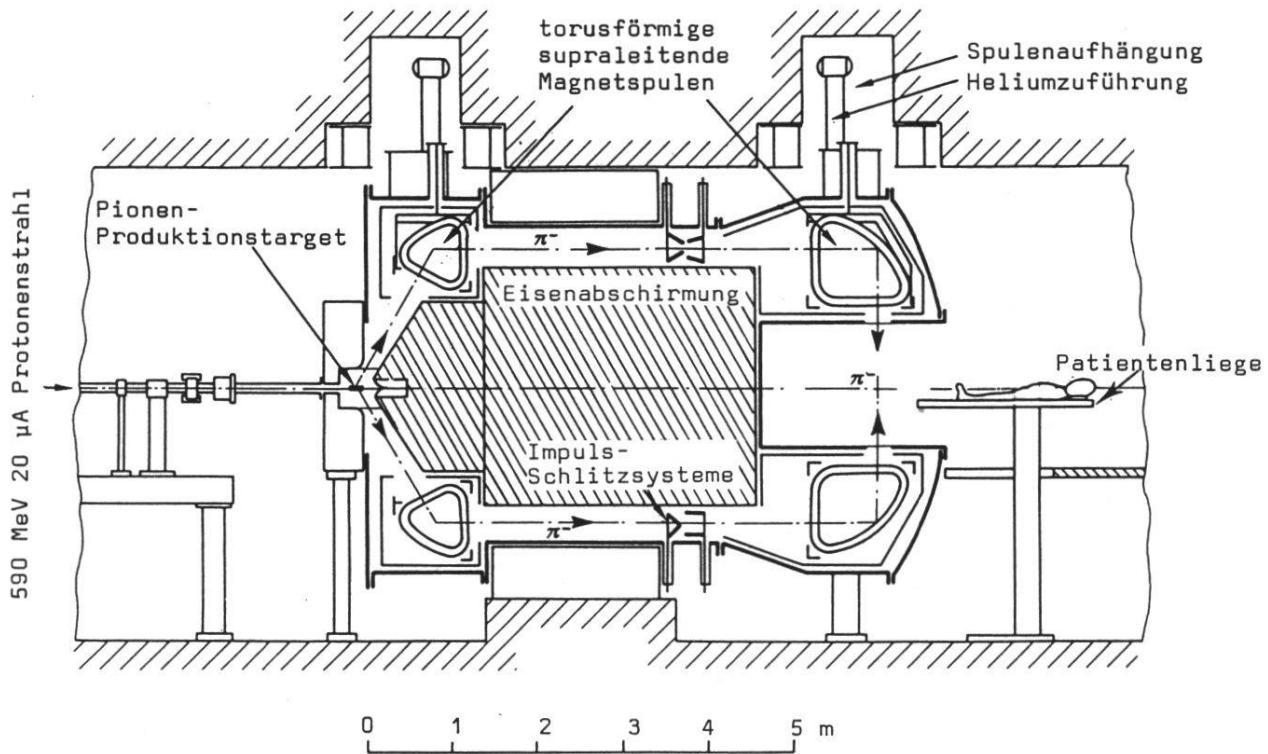
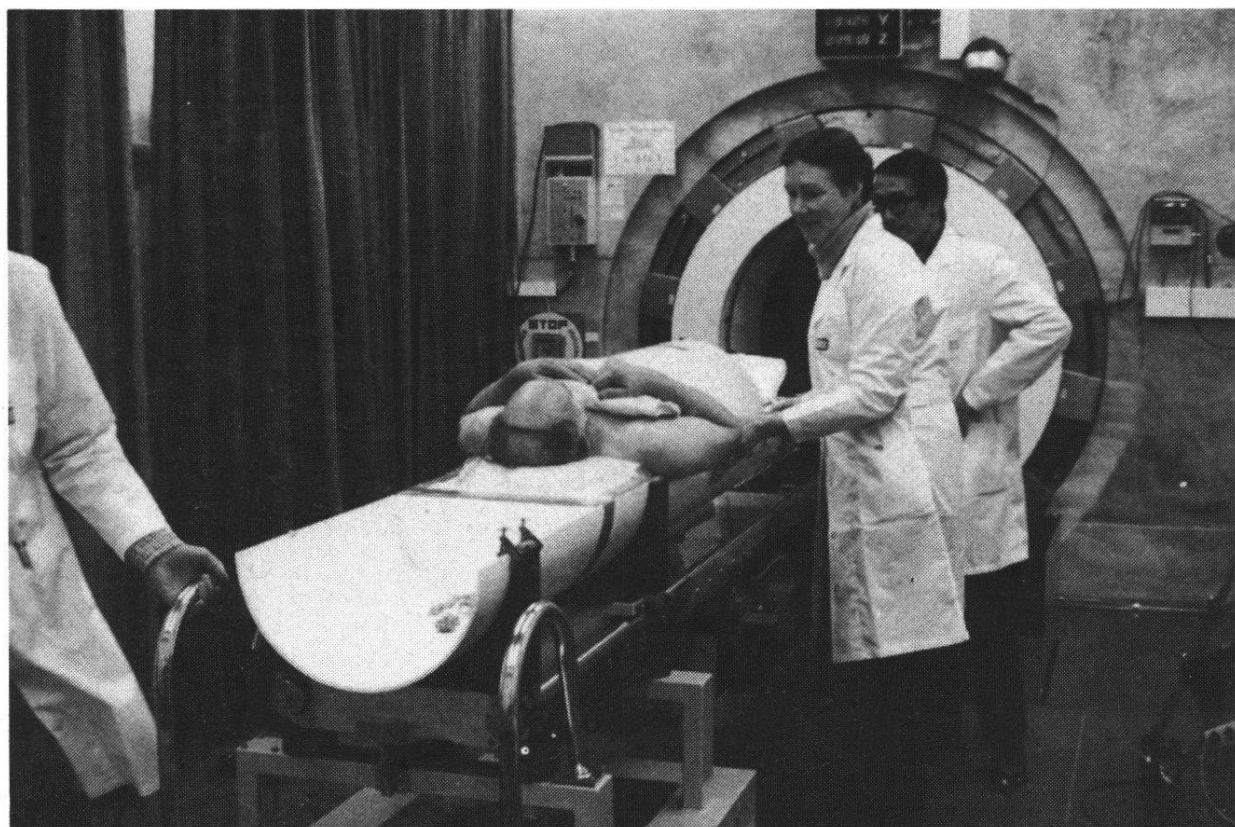


Abb. 1: Schematische Darstellung des Pionenapplikators (PIOTRON). Links im Bild trifft der Protonenstrahl aus dem Ringbeschleuniger auf das Target, wo die Pionen erzeugt werden. 120 supraleitende Spulen, wovon je 60 in einem Ring angeordnet sind, dienen zur Bündelung und Ablenkung der Pionen, um sie dann auf den Tumor zu lenken. Die Eisenabschirmung schützt den Patienten vor unerwünschten Strahlungen, hauptsächlich hochenergetischen Neutronen.



Klinische Studien

Klinische Studien				
Phase	Klinisches Kriterium	Klinisches Ziel	Biologisches und physikalisches Ziel	Behandlungsart
Ia'	periphere metastatische Knoten	palliativ	Bestimmung der Position des Patienten auf der Patientenliege, in der Moulage und im Wasserbolus.	statisch - 30 Einzelstrahlen durch Wasserbolus. Keine Überlagerung von Inhomogenitäten. Planung ohne Computer-Tomograph-Bilder.
Ia''	große Lymphknoten mit Metastassen	palliativ	Bestimmung der Dosisverteilung von überlagernden Strahlflecken.	statisch - zwei Positionen mit überlagernden Bestrahlungsflecken von je 30 Einzelstrahlen.
Ib	große Metastassen in Knotenform oder grosse Volumen	palliativ	Bestimmung der Dosisverteilung bei Bestrahlung mit bewegtem Strahlfleck.	dynamisch - 30 Einzelstrahlen. Planung mit Computer-Tomograph-Bildern. Keine Überlagerung von Inhomogenitäten.
II	Fortgeschrittene Tumoren an verschiedenen Stellen	Radikal-entfernung	Feststellen der optimalen Dosierung.	dynamisch - 30 bis 60 Einzelstrahlen. Möglichkeit der Überlagerung von Inhomogenitäten.

Tabelle I

Klinische Resultate

Phase	Klinische Charakteristiken			Behandlung				Ergebnis	
	Lage	Histologie	Primär	Dosis in Rad	Frak-tionen	Behand-lungszeit in Tagen	Normal-Gewebe	Tumor	Dauer der Nachuntersu-chung (-2/82)
Ia'	Haut	Melanom	Haut	2040	4	6	Atrophie	kein Rezidiv	10 Monate
Ia''	Leiste	Melanom	Haut	1831	4	6	Atrophie	kein Rezidiv	10 Monate
Ib	Bauchwand	Adenokarzinom	Magen	1200	4	5	Null	kein Rezidiv	6 Monate
Ib	Leber	Adenokarzinom	Magen	2023	7	11	Null	kein Rezidiv	3 Monate
Ib	Bauchwand	Plattenzellen-karzinom	Hals	1660	7	11	Null	kein Rezidiv	2 Monate
II	Becken	Adenokarzinom	Nieren	1900	7	12	Null	kein Rezidiv	2 Monate

In Phase II wird eine systematische Dosissteigerung erfolgen, und die Reaktionen des umliegenden gesunden Gewebes sowie die Tumorkontrolle werden ausgewertet. Bestrahlt werden dabei Tumoren der Pelvis, in der Bauchregion und im Hirn. Die Kontrolle erfolgt unter Berücksichtigung der Totaldosis, des Tumorvolumens und der Anzahl Behandlungen (20 Fraktionen).

Tabelle 2

Das Kernstück der am SIN entwickelten Anlage ist der Pionenapplikator (PIOTRON) (Abb. 1 und 2), welcher mit zwei großen, torusförmigen supraleitenden Magneten sechzig energieanalyisierte Pionenstrahlen radial konvergent auf den Behandlungspunkt konzentriert. Es werden dazu $20 \mu\text{A}$ Protonen von 590 MeV Energie verwendet. Durch die Wirkung der sechzig einzelnen Pionenstrahlen, welche alle ihre Dosisverteilung durch konzentrische Überlagerung zu einem Brennpunkt sammeln, wird eine einzigartige Dosisverteilung tief im Körper erzeugt. Im Gegensatz zu den Anlagen bei LAMPF und TRIUMF ist es am SIN möglich, eine echt dreidimensionale Anpassung der Dosisverteilung an beliebige Tumorformen, auch bei tiefliegenden Tumoren, zu erreichen. Dabei fällt außerhalb des Zielvolumens nach allen Richtungen die Dosis schnell auf sehr geringe Werte ab.

Im SIN hat im Herbst 1980 eine klinische Versuchsreihe begonnen (Tabelle 1). In einer ersten Phase wurde eine kleine Zahl von Patienten palliativ (zur Schmerzlinderung und Zurückdämmung des Tumors) behandelt und dabei die Wirkung von Pionen mit konventionellen Strahlen vergleichend untersucht. Anfang 1982 wurde in Phase II die kurative Behandlung von größeren tiefliegenden Tumoren, welche bisher nur schlecht zugänglich waren, in Angriff genommen.

Die bisherigen klinischen Resultate zeigen eine gute Übereinstimmung mit den von der Radiobiologie erwarteten Resultaten (Tabelle 2). Akute Reaktionen auf die Behandlung waren minimal. Statistiken über Spätwirkungen können jedoch erst nach längeren Beobachtungsperioden erstellt werden. Erfreulich ist die Tatsache, daß bis heute bei Tumoren, die mit Pionen bestrahlt wurden, kein Rückfall aufgetreten ist. Die Beobachtungszeit nach der Behandlung muß sich aber über eine längere Zeit erstrecken, um definitiv die Wirkung der Bestrahlung feststellen zu können.