

Originalarbeiten / Original Works

Zur biomechanischen Fragilität des Säuglingsschädels*

W. Weber

Abteilung Rechtsmedizin der Medizinischen Fakultät
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Pauwelsstraße (Neuklinikum),
D-5100 Aachen, Bundesrepublik Deutschland

Biomechanical Fragility of Skull Fractures in Infants

Summary. Following previous experiments on postmortem skull fractures of infants, falls from 82-cm heights onto stone (A), carpet (B) and foam-backed linoleum (C), 35 further falling tests were carried out onto softly cushioned ground. In 10 cases a 2-cm thick foam rubber mat (D) was chosen and in 25 further cases a double-folded (8-cm-thick) camel hair blanket (E). Hence the results of altogether 50 tests could be evaluated.

In test groups A–C on a relatively hard surface, skull fractures of the parietale were observed in every case; in test group D this fracture was seen in one case and in test group E in four cases.

Measurements along the fracture fissures showed bone thicknesses of 0.1–0.4 mm. The fracture injuries originated in paper-thin single-layer bone areas without diploe, which can also be considered the preferred regions for skull fractures of older infants following falls from low heights. These results indicate that it is no longer possible to assume that the skull of infants is not damaged after falls from table height.

Key words: Infant skull fractures – Biomechanical fragility – Battered child syndrome

Zusammenfassung. In Fortführung früherer experimenteller, postmortaler Schädelbruchverletzungen von Säuglingen nach Stürzen aus 82 cm Höhe wurden weitere 35 Sturzversuche durchgeführt, so daß insgesamt Ergebnisse von 50 Fällen vorliegen. Bei je 5 Sturzversuchen auf harten Untergrund – (Steinkachelboden, Teppichboden und Linol-Schaumstoff) – waren in allen Fällen Kalottenfrakturen entstanden.

Bei den 35 Sturzvorgängen auf weich gepolsterten Untergrund – (Schaumstoffmatte, Kamelhaardecke) – traten bei 5 Fällen gleichartige Frakturen auf, die im Os parietale lokalisiert waren. In dieser Region besteht bis zum späten Säuglingsalter wegen primärer Einschichtigkeit der Ossifikation, noch fehlender Diploe und Vaskularisation eine besondere

* Herrn Dipl. Phys. Prof. Dr. med. K. Sellier zum 60. Geburtstag gewidmet

Prädilektionszone für Bruchverletzungen nach stumpfer Gewalt, insbesondere bei Sturz auf den Kopf. Diese Untersuchungsergebnisse haben somit bestätigt, daß nach angeblichen Sturzvorgängen aus Wickeltischhöhe die Annahme der Unversehrtheit des Säuglingsschädels nicht berechtigt ist.

Schlüsselwörter: Schädelfraktur, Säuglinge – Biomechanische Fragilität – Kindesmißhandlung

Frakturen des Säuglingsschädels nach Stürzen aus niedriger Höhe kommen offensichtlich häufiger vor als von Laien, aber auch von Ärzten vermutet wird (Schydlo und Gleiss 1971; Holczabek et al. 1972; Herlich et al. 1973; Sölch und Schickedanz 1976; Kotlarek et al. 1978; Franzen-Wobbe 1983; Weber 1983, 1984).

Nach den eigenen, kürzlich mitgeteilten experimentellen Untersuchungsergebnissen – (3 Testserien mit je 5 simulierten Sturzvorgängen im freien Fall aus 82 cm Höhe auf Stein-Kachelboden (A), Teppichboden (B) und Linol-Schaumstoff (C)) – wurden in allen Fällen postmortale Kalottenfrakturen verursacht. Daraus wurde der Schluß gezogen, daß nach Sturzvorgängen aus Wickeltischhöhe *grundsätzlich nicht* die Annahme der Unversehrtheit des Säuglingsschädels berechtigt ist.

Da in der Literatur immer wieder auf die Elastizität der Kalottenknochen und wegen ihrer häutigen Nahtverbindungen auf ihre gegenseitige Verschieblichkeit hingewiesen wird, stellt sich die Frage nach der Ursache für die Kalotten-Fragilität des Säuglings und in der Folge weiterer experimenteller Untersuchungen die Frage nach ihrer möglichen Vermeidbarkeit.

Versuchsanordnung

In Fortsetzung der früheren experimentellen Untersuchungen (Weber 1984) wurden nach vorheriger äußerer Besichtigung, Tastbefunderhebung und Röntgendurchleuchtung der Säuglinge in weiteren 35 Fällen postmortale Sturzversuche im freien Fall, *ohne* „vis a tergo“ aus 82 cm (Wickeltischhöhe) durchgeführt, wobei der Körper in horizontaler Position und der Schädel im parieto-occipitalen Bereich gleichzeitig aufschlugen. Als weitere Sturz-Grundflächen wurden für 10 Versuche eine 2 cm dicke Schaumstoffmatte (D), sowie für 25 Versuche eine 2fach gefaltete, insgesamt ca. 8 cm dicke Kamelhaardecke (E) gewählt (Abb. 1).

Zur Befunderhebung erfolgten: 1. die anschließende Obduktion, 2. Dickenmessungen des Kalottenknochens entlang der Bruchspalten und 3. die Diaphanie der Kalotten nach mechanischer Entfernung des Periosts und der Dura mater.

Ergebnisse

In Tabelle 1 wird das gesamte Untersuchungsgut der bisher vorliegenden 50 Sturzversuche aus Wickeltischhöhe (82 cm) aufgelistet nach Alter, Geschlecht (m, w), Kopfumfang (KU), Frakturennachweis im Os parietale (F) und Sturz-Grundflächen (S-GF). Von den 10 Sturzversuchen auf die 2 cm dicke Schaumstoffmatte wurden nur in einem Fall (Nr. 20) Kalottenfrakturen beobachtet

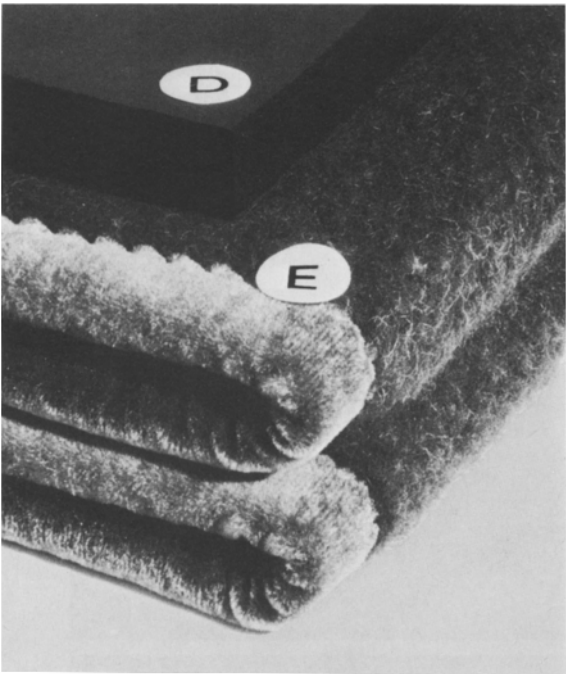


Abb.1. Beschaffenheit der beiden Sturz-Grundflächen (D = 2 cm elastischer Schaumstoff; E = 2fach gefaltete Decke mit 4 Lagen, ca. 8 cm dick)

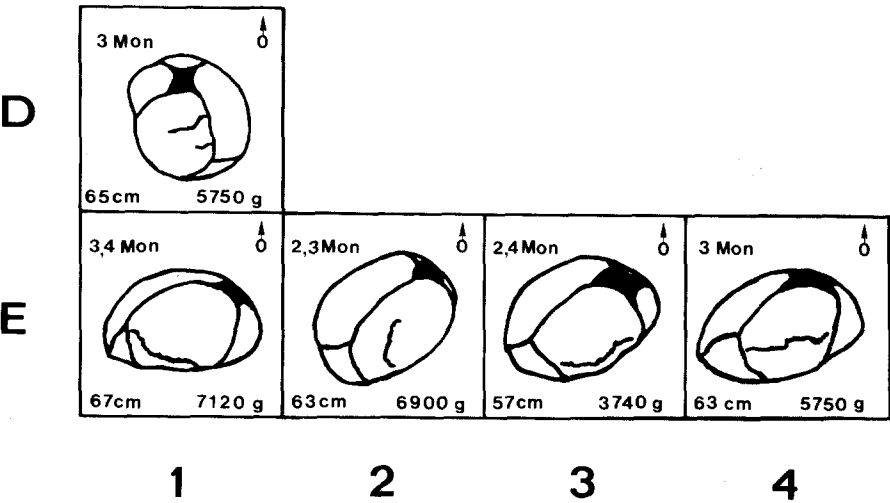


Abb.2. Verlauf der Kalottenfrakturen nach Sturz aus 82 cm Höhe: D = Sturz auf Schaumstofflage; E = Sturz auf 4 Deckenlagen

(D1 in Abb. 2). Nach den 25 Sturzversuchen auf die 2fach gefaltete, ca. 8 cm dicke Kamelhaardecke waren in 4 Fällen (Nr. 31, 35, 36, 38) Biegungsfrakturen (= Celloloidfrakturen, Linienfrakturen) festzustellen. Die Dicke des Kalottenknochens entlang der Frakturspalten schwankte zwischen 0,1 und 0,4 mm.

Bei der Diaphanie zeigte sich, daß sich die Frakturen dieser Fälle jeweils in „papierdünnen“ Knochenarealen, d.h. in den hellen, durchscheinenden An-

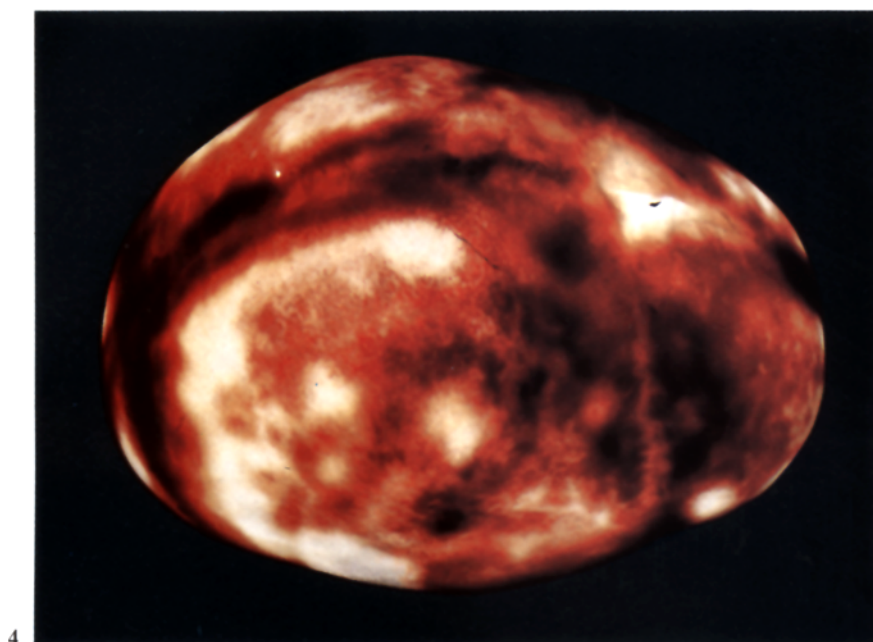
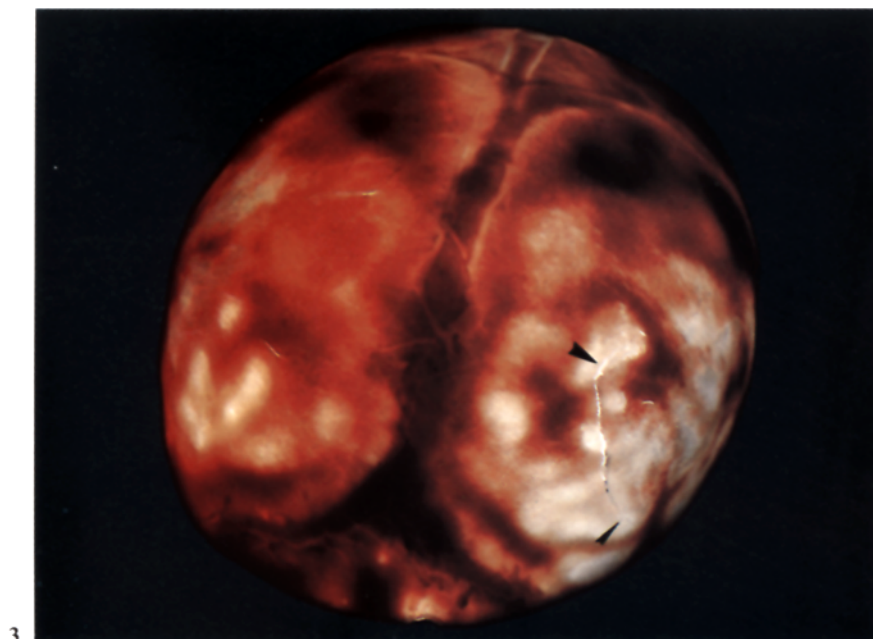


Abb.3. Diaphanie der Kalotte E2; Pfeilmarkierung am Bruchspalt

Abb.4. Diaphanie der Kalotte eines 9,1 Monate alt gewordenen Säuglings (Versuch Nr. 32). Fortgeschrittene Diploeibildung. Die streifige Aufhellung entspricht der bruchgefährdeten Prädilektionszone

teilen befanden (Abb. 3). Die Frakturen der Sturzversuche 1 bis 15 verliefen sogar bis in die optisch dichteren, dunkleren Knochenzonen. Die Diaphanie ließ zudem das Ausmaß der Diploebildung und der Vaskularisation des Deckknochens erkennen, die offensichtlich altersabhängig sind. Die streifig-bogenförmigen hinteren Anteile des Os parietale sind danach auch im fortgeschrittenen Säuglingsalter als Prädilektionsstellen für Frakturen nach Stürzen aus geringerer Höhe anzusehen (Abb. 4).

Diskussion

Die Fragilität des Säuglingsschädels nach Stürzen läßt sich nicht ohne weiteres von den Erkenntnissen ableiten, die an Schädeln erwachsener Personen gewonnen wurden. Im Unterschied zum Schädel des älteren Kleinkindes bzw. des Erwachsenen sind die 5 dünnwandigen Knochenschuppen der Säuglingskalotte in ausgedehnten Bereichen ohne Diploe und somit einschichtiger Deckknochen, zudem peripher an den Suturen und Fontanellen teilweise breitstreifig bindegewebig miteinander verbunden.

Die daraus resultierende Verschieblichkeit, wie auch Nachgiebigkeit der Knochenschalen scheinen für die Eigenschaft verantwortlich zu sein, daß auf den Säuglingsschädel einwirkende Gewalt – (z.B. durch quasi-statischen Druck beim Geburtsvorgang oder durch kinetische Energie nach Sturz aus geringer Höhe) – ohne wesentliche Verletzungen durch Verformung toleriert wird (Sellier und Unterharnscheidt 1963; Theiler 1963; Schydlo und Gleiss 1971; Dotzauer und Guzinski 1975; Sölch und Schickedanz 1976; Gromov 1982).

Bei mechanisch einwirkenden Kräften reagiert im wesentlichen jede Knochenschuppe für sich allein (Panning 1939/40). Nur diejenigen Stoßkräfte werden auf benachbarte Kalottenschuppen übertragen, die parallel zueinander liegen, bzw. wenn Stoßkräfte senkrecht zu den Nähten angreifen. In „gewissen Grenzen“ erschöpfen sich so Stoßenergien in lokal umschriebenen Anteilen des Schädeldachs (Sellier und Unterharnscheidt 1963; Sellier 1968, 1971).

Außer der Festigkeit der bindegewebigen Verbindungen der einzelnen Kalottenknochen ist für deren Biegsamkeit ihre Dicke von wesentlicher Bedeutung: Bei zunehmender Knochendicke – (Vaskularisation, Diploebildung, Differenzierung von Tabula externa und interna) – nimmt die Knochenfestigkeit zu. Die Stoßenergie kann sich nicht mehr oder nur sehr eingeschränkt in lokaler Deformation erschöpfen. Vielmehr überträgt sie sich nun auf den gesamten Schädel, wobei der Erwachsenenschädel mit seinen verknöcherten Suturen nahezu einem starren Hohlkörper entspricht (v. Essen 1972).

Die Folgen der auf die Kalotte einwirkenden Kräfte sind zudem abhängig von Form, Ausmaß und Beschaffenheit der jeweiligen Kontaktflächen. Diese werden durch die Schädelkonfiguration – (Dolichocephalie, Brachycephalie) – Form und Ausmaß der getroffenen Kalottenoberfläche, sodann durch Festigkeit bzw. Biegsamkeit der Knochenschuppe, wie auch durch entsprechend wirksame Faktoren des Widerlagers bestimmt.

Die Ergebnisse der nunmehr vorliegenden 50 experimentellen Sturzversuche aus 82 cm Fallhöhe auf die verschiedenen Grundflächen (A–E) waren

insgesamt unerwartet. Bei den 10 Sturzversuchen auf die 2 cm dicke, elastische Schaumstoffmatte (D), wurden lediglich in einem Fall (Versuch Nr. 20) 2 Linienfrakturen im Os parietale sinistrum (Abb. 2) festgestellt. Insofern schien die Annahme berechtigt, daß bei Sturzversuchen auf eine *noch* weichere und *noch* dickere Grundfläche in Form einer 2fach gefalteten und ca. 8 cm dicken Kamelhaardecke Frakturen des Säuglingsschädels nach Sturz aus Wickeltischhöhe nicht auftreten würden. Bei entsprechenden postmortalen Sturzversuchen mit 25 Säuglingen auf diese Grundfläche (E) entstanden jedoch in 4 zusätzlichen Fällen Frakturen im Os parietale. Das Alter dieser 4 männlichen Säuglinge, sowie das Alters des o. angegebenen Falles der Versuchsgruppe D lag zwischen 2,3 bis 3,4 Monate. In diesem Alter können Säuglinge bereits befähigt sein, selbständig, etwa durch Körperdrehung ihre Lage zu verändern, was unter forensischen Aspekten sicherlich zu berücksichtigen ist (Holczabek et al. 1972; Flehmig 1983).

Durch Dickenmessungen des Kalottenknochens entlang der Frakturlinien war festzustellen, daß hier die Knochenschale eine Stärke zwischen 0,1 bis 0,4 mm aufwies, demnach die Kalottenschuppen in den Bruchzonen „papierdünn“ waren. Dies zeigte sich auch besonders bei der Diaphanie (Abb. 3). Auf diese Weise ließen sich Ausmaß und Lokalisation der bereits bestehenden Vaskularisation und Diploeildbildung erkennen, die den Bruchlinienverlauf offensichtlich entscheidend beeinflussten. Dies zeigen die früheren Versuche Nr. 1 bis 15, bei denen die Bruchlinien innerhalb der dichteren, dunkleren Knochenzonen endeten: Die härteren Sturzgrundflächen (A–C) bewirkten einen kürzeren Bremsweg des Schädels nach dem Sturz und somit eine stärkere mechanische Deformation der einzelnen Kalottenschalen, so daß in 3 Fällen die Suturen von den Biegungsfrakturen überschritten wurden.

Die dünnen, d.h. die in der Diaphanie durchscheinenden, hellen, noch nicht vaskularisierten Deckknochenzonen ohne Diploe sind somit als besonders gefährdete Regionen für Celloloidfrakturen, Fissuren und Biegungsfrakturen anzusehen. Dies trifft selbst für Säuglinge höheren Alters zu (Abb. 4).

Man muß nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen die Überzeugung gewinnen, daß die sowohl von Laien als auch von Ärzten „bagatellisierten“ Stürze von Säuglingen aus niedriger Höhe ursächlich für neuropsychiatrische Folgezustände sein können, die bisher vordergründig als *genuin* bezeichnet werden. Ob jeweils mit Schädelfrakturen nach solchen Stürzen ein Hirntrauma resultiert, konnte postmortal nicht nachvollzogen werden. Sicherlich mag die Differentialdiagnostik aus klinischer, wie auch forensischer-medizinischer Sicht Schwierigkeiten bereiten. In jedem Fall eines Sturzes aus niedriger Höhe ist jedoch zu empfehlen, daß eine eingehende Diagnostik z.B. durch Röntgenkontrolle und ärztliche Beobachtung stattfindet und entsprechende therapeutische Maßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden (Schydlo und Gleiss 1971; Holczabek et al. 1972; Herbich et al. 1973; Sölch und Schickedanz 1976; Starke und Straube 1982; Starke und Strugalla 1983; Kaiser und Feninger 1984).

In der bisherigen Literatur haben experimentelle Modellversuche die Inhomogenität der Kalottenschuppen des Säuglingsschädels unberücksichtigt gelassen (Haberda 1911; F. Strassmann 1925; G. Strassman 1927; Panning 1939/40;

Sellier 1968, 1971; Sellier und Unterharnscheidt 1963; Lindgren 1966; v. Essen 1972). Die vorgelegten Untersuchungsergebnisse zeigen unter besonderer Berücksichtigung der Diaphanie, daß für die Fragilität des Säuglingsschädels Prädilektionsstellen in den einsichtigen Deckknochenanteilen des Os parietale bestehen.

Die vorgelegten Untersuchungsergebnisse, deren forensische Konsequenz bereits früher angesprochen wurde, sollten demonstrieren, daß die Fragilität des Schädels beim Säugling anders zu beurteilen ist als die des Erwachsenen. Die mit Hilfe der Diaphanie im Os parietale im Säuglingsalter nachweisbaren einschichtigen Deckknochenareale müssen als besonders frakturgefährdete Prädilektionsstellen bei Sturz aus niedriger Höhe angesehen werden.

Tabelle 1. Auflistung des bisher vorliegenden Untersuchungsguts nach Alter, Geschlecht, (m, w), Kopfumfang (KU), Frakturen (F), und Sturz-Grundflächen (S-GF) (A = Stein-Kachelboden; B = Teppichboden; C = Linol-Schaumstoff; D = 2 cm dicke Schaumstoffmatte; E = zweifach gefaltete, 8 cm dicke Woldecke)

Nr.	Alter in Mon.	m, w	Größe cm	Gewicht g	KU cm	Fraktur	S-GF
1	2,3	m	64	5140	39,5	+	A
2	4,0	m	67	5700	41,0	+	
3	4,0	w	69	6250	41,0	+	
4	2,2	w	61	5600	40,5	+	
5	3,1	w	60	4700	40,0	+	
6	3,3	m	68	6800	43,0	+	B
7	3,0	m	64	5150	41,5	+	
8	3,0	w	62	5030	38,5	+	
9	3,2	m	65	6350	41,0	+	
10	2,3	w	60	3790	38,0	+	
11	8,1	m	74	7700	45,0	+	C
12	1,2	m	56	3880	37,5	+	
13	8,2	w	69	8100	44,0	+	
14	3,0	m	51	2910	34,5	+	
15	Neugeb.	m	51	2610	34,0	+	
16	9,0	w	76	7875	45,0	—	D
17	1,2	m	59	4410	38,0	—	
18	2,3	w	60	2540	39,0	—	
19	2,0	w	56	4900	39,0	+	
20	3,0	m	65	5750	41,0	+	
21	1,1	m	56	3600	37,0	—	
22	4,0	m	60	5130	43,0	—	
23	3,1	m	60	4620	38,5	—	
24	6,0	m	71	8055	46,0	—	
25	2,2	w	62	4445	39,0	—	

Tabelle 1. (Fortsetzung)

Nr.	Alter in Mon.	m, w	Größe cm	Gewicht g	KU cm	Fraktur	S-GF
26	Neugeb.	m	53	3150	35,0	—	
27	2,1	w	55	4150	37,5	—	
28	3,4	m	62	5100	41,0	—	
29	2,2	m	57	4300	39,0	—	
30	4,3	m	74	6130	43,0	—	
31	3,4	m	67	7120	43,5	+	
32	9,1	w	74	5430	40,0	—	
33	4,3	w	64	2695	40,0	—	
34	3,0	m	57	5550	44,0	—	
35	2,3	m	63	6900	40,5	+	
36	2,4	m	57	3740	38,0	+	
37	5,3	w	68	6220	42,0	—	
38	3,0	m	63	5750	41,0	+	
39	7,0	m	72	8670	46,0	—	E
40	1,4	w	62	4200	37,5	—	
41	3,0	w	63	4530	40,5	—	
42	1,2	m	61	4635	39,5	—	
43	6,2	w	64	6600	42,0	—	
44	2,2	m	63	5530	44,0	—	
45	3,0	w	72	5260	40,5	—	
46	3,2	w	69	6600	42,0	—	
47	6,3	m	74	6850	43,5	—	
48	5,0	m	65	7980	44,0	—	
49	3,0	w	68	5870	41,0	—	
50	2,3	w	62	5800	40,0	—	

Literatur

- Dotzauer G, Guzinski H-J (1975) Die morphologische Problematik des Kopftraumas des Säuglings, speziell des subduralen Hämatoms. *Aktuel Traumatol* 5:9–14
- Essen C von (1972) Zum Schädeltrauma – Bestimmung der Bruchtoleranz. *Med Diss, Bonn*
- Flehmgig J (1983) Normale Entwicklung des Säuglings und ihre Abweichungen. Thieme, Stuttgart New York
- Franzen-Wobbe M (1983) Über die Bedeutung linearer Kalottenfrakturen im Säuglingsalter. *Med Diss, Aachen*
- Gromov AP (1982) Biomechanik der Kopfverletzungen. *Kriminalistik Forens Wissensch* 45:25–32
- Haberda A (1911) Zur Lehre vom Kindesmorde. *Beitr Gerichtl Med* 1:38–191
- Herbich J, Holczabek W, Lachmann D, Zweymüller E (1973) Zur Differentialdiagnose der Kindesmißhandlung. *Beitr Gerichtl Med* 31:97–101
- Holczabek W, Lachmann D, Zweymüller E (1972) Sturz im Säuglingsalter. *Dtsch Med Wochenschr* 97:1640–1646
- Kaiser G, Feninger J (1984) Effect of neurointensive care upon outcome following severe head injuries in childhood—a preliminary report. *Neuropediatrics* 15:68–75
- Kotlarek F, Kurth W, Franzen M (1978) Die Bedeutung typischer Kalottenfrakturen im Säuglingsalter. *Klin Pädiat* 190:323–325

- Lindgren SO (1966) Experimental studies of mechanical effects in head injury. *Acta Chir Scand [Suppl]* 360
- Panning G (1939/40) Zum Mechanismus der Schädelbrüche an Säuglingen. *Dtsch Z Gerichtl Med* 32:161–178
- Schyldlo R, Gleiss J (1971) Schädelbrüche im ersten und zweiten Lebensjahr. *Pädiat Prax* 10:249–253
- Sellier K (1969) Biomechanik des Schädelhirntraumas. *Hefte Unfallheilk* 99:251–255
- Sellier K (1971) Das Schädel-Hirn-Trauma. Neuere Erkenntnisse und Zusammenstellung von Toleranzwerten von knöchernem Schädel und Gehirn bei mechanischer Gewalteinwirkung. *Z Rechtsmed* 68:239–252
- Sellier K, Unterharnscheidt F (1963) Mechanik und Pathomorphologie der Hirnschäden nach stumpfer Gewalteinwirkung auf den Schädel. *Hefte Unfallheilk*, Heft 66
- Sölch O, Schickedanz H (1976) Die Schädelfraktur im Kindesalter. *Beitr Orthop Traumatol* 23:329–334
- Starke W, Straube J (1982) Isolierte traumatische Läsionen der Tabula externa der Schädelkalotte – eine Rarität. *Unfallheilk* 85:30–32
- Starke W, Strugalla G (1983) Zur Differentialdiagnose der Schädelfraktur im Kindesalter. *Aktuel Traumatol* 13:253–255
- Strassmann F (1925) Kindesmord oder Sturzgeburt und Wiederbelebungsversuche? *Dtsch Z Gerichtl Med* 5:66–68
- Strassmann G (1927) Beiträge zur Lehre vom Kindesmord. *Dtsch Z Gerichtl Med* 9:546–564
- Theiler K (1963) Entwicklung und normale Röntgenanatomie des Schädels. I. Embryonale und postnatale Entwicklung des Schädels. *Handbuch der medizinischen Radiologie VII/I*. Springer, Berlin Göttingen Heidelberg, S 22–60
- Weber W (1983) Zur Objektivierung pathomorphologischer und traumatischer Augenveränderungen. *Beitr Gerichtl Med* 41:359–364
- Weber W (1984) Experimentelle Untersuchungen zu Schädelbruchverletzungen des Säuglings. *Z Rechtsmed* 92:87–94

Eingegangen am 7. Dezember 1984