

ANNALES  
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE - SKŁODOWSKA  
LUBLIN — POLONIA

VOL. XX, 11

SECTIO D

1965

---

Katedra i II Klinika Chorób Wewnętrznych. Wydział Lekarski. Akademia Medyczna w Lublinie  
Kierownik: prof. dr med. Alfred Tuszkiewicz  
Centralne Laboratorium Kliniczne P. S. K. Nr 4 w Lublinie  
Kierownik: doc. dr med. Tomasz Borkowski

Leszek SZCZEPAŃSKI, Henryk BERBEĆ,  
Lucyna JANICKA i Maria WIŚNIEWSKA

**Badania nad elektrolitami mięśni szkieletowych po zgonie**

**Исследование электролитов скелетных мышц после смерти**

**Post-mortem Examination of the Electrolytes in Skeletal Muscles**

Na tle dużej ilości publikacji o zmianach elektrolitowych w różnych stanach i chorobach ustroju uderzające jest, że tylko niewielu badaczy zajmowało się dotychczas zagadnieniem zachowania się elektrolitów po zgonie. Prace takie były podejmowane głównie dla oceny przydatności badania elektrolitów do określania czasu śmierci lub wykluczenia utonięcia jako przyczyny zgonu (5, 11, 12).

Badania elektrolitów komórkowych w mięśniach pobranych od osobników żyjących wymagają wykonania zabiegu i dlatego są bardzo kłopotliwe. Zastosowanie przed pobraniem wycinka znieczulenia miejscowego a nawet znieczulenia ogólnego może powodować odchylenia w składzie elektrolitów (1). Tych ujemnych stron nie wykazują badania pośmiertne, pozwalające ponadto na użycie do badań dużych wycinków, co zwiększa dokładność oznaczeń.

Moore oraz Mastyska i wsp. (13, 14) stwierdzili znaczne różnice w zawartości elektrolitów w tkance mięśniowej na początku i na końcu zabiegu operacyjnego. Stąd powstały opinie o dużej chwiejności składu elektrolitowego tkanki mięśniowej, możliwości dużych zmian elektrolitowych w agonii i po zgonie oraz o ograniczonej wartości prac opartych na badaniach pośmiertnych dla oceny zaburzeń elektrolitowych, powstałych przed zgonem (1, 15). Badania Wienfielda i wsp. (21) wykazały jednak, że zmiany elektrolitowe dotyczą jedynie tkanki mięśniowej okolicy pola operacyjnego i nie noszą charakteru zaburzeń ogólnoustrojowych.

Mięśnie szkieletowe są tkanką najobfitszą i najbardziej jednolitą w budowie i dlatego są najczęściej używane do badań nad elektrolitami komórkowymi. Cort (4) wyraża przekonanie, że dokładność bezpośrednich badań mięśni szkieletowych jest większa niż pośrednich badań z użyciem izotopów oraz że metoda ta jest nieporównanie szybsza i użyteczniejsza niż badania bilansowe. Histoche-

miczne oznaczanie zawartości elektrolitów w komórkach jest mało dokładne, informuje tylko orientacyjnie o ilości elektrolitów komórkowych (17).

Największą przeszkodą w szerszym rozpowszechnianiu metody bezpośredniego badania elektrolitów w mięśniach jest konieczność wykonania przykrego i nie zawsze obojętnego zabiegu. Z tych to względów większość ogłoszonych dotychczas prac nad elektrolitami komórkowymi u ludzi oparta była na niewielkiej liczbie przypadków. Niejednokrotnie do pewnych celów znacznie wygodniej byłoby wykonać badania takie na zwłokach. Nasze wysiłki poszły w kierunku określenia przydatności badań pośmiertnych dla oceny wewnątrzkomórkowych zaburzeń elektrolitowych powstałych przed zgonem.

#### MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Z 36 zwłok osób dorosłych i 4 dzieci zmarłych nagle z powodu urazów, zawałów serca lub schorzeń ośrodkowego układu nerwowego pobrano wycinki wielkości około 1,5 g z mięśnia prostego brzucha. Takie same wycinki pobrano od 10 chorych znajdujących się w dobrym stanie, operowanych w znieczuleniu ogólnym. W mięśniach tych dokonano analizy zawartości wody i najważniejszych elektrolitów:  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ .

Bezpośrednio po pobraniu wycinka odpreparowywano tkankę łączną i tłuszczową. Zważony z dokładnością do 0,0002 g skrawek mięśnia 0,1—0,2 g suszono do stałej wagi w temp. 105°C celem oznaczenia zawartości wody. Około 1 g mięśnia odważono z dokładnością do 0,005 g i rozcierano w homogenizatorze Pottera-Elvehjema z dziesięciokrotną ilością 0,1 N kwasu azotowego (6). Mieszaninę pozostawiano na 12 godz. w temperaturze pokojowej, wirowano, pobierano 3 ml supernatantu do oznaczenia chlorków, pozostałą część supernatantu traktowano 4% kwasem trójchlorooctowym w stosunku 1:1, ponownie wirowano i w klarownym supernatancie oznaczano sód, potas, magnez i wapń.

Chlorki w ekstrakcie tkankowym oznaczano wg metody merkurometrycznej Schalesa i Schalesa (19). Sód i potas oznaczano fotometrycznie, posługując się fotometrem płomieniowym Zeissa. Magnez i wapń oznaczano w ekstrakcie tkankowym kompleksometrycznie przy pomocy wersenianu dwusodowego (2, 3). Zawartości tłuszczów nie uwzględniano w badaniach. Oparto się na opinii o stałości odsetka tłuszczów w tkance mięśniowej (9, 10).

Sposób wyrażania wyników: posługujemy się następującymi symbolami:  $(H_2O)_m$  — ogólna ilość wody w g/kg świeżej tkanki,  $(H_2O)_e$  — woda przestrzeni pozakomórkowej w g/kg świeżej tkanki,  $(H_2O)_i$  — woda przestrzeni komórkowej w g/kg świeżej tkanki,  $(Cl)_m$ ,  $(Na)_m$ ,  $(Ca)_m$ ,  $(K)_m$ ,  $(Mg)_m$  — chlorki, sód, wapń, potas i magnez w mEq/kg świeżej tkanki,  $i(K)$ ,  $i(Mg)$  — stężenie potasu i magnezu w „wodzie wewnątrzkomórkowej” w mEq/l.

Ponieważ reprezentatywny dla przestrzeni pozakomórkowej jest jedynie chlor zjonizowany, uzyskane przez miareczkowanie wartości chloru poprawiono sposobem zaproponowanym przez Yanna i Darrowa (22), zmniejszając wyniki o 1 mEq w przeliczeniu na każde 100 g suchej tkanki.

Wartości wody pozakomórkowej, wewnątrzkomórkowej i stężenie elektrolitów w wodzie wewnątrzkomórkowej określano zgodnie z regułą podaną przez Hastingsa i Eichelbergera (1), zakładając że praktycznie wszystkie chlorki tkanki mięśniowej zawarte są w przestrzeni pozakomórkowej (wg 1, 16). W tych przypadkach, w których przestrzeń sodowa okazała się mniejsza od przestrzeni chlorkowej, za podstawę do obliczeń wody pozakomórkowej przyjęto stężenie sodu w tkance mięśniowej.

Celem sprawdzenia, czy istnieje zależność między uzyskanymi wynikami a czasem, jaki upłynął od chwili zgonu i wiekiem zmarłych, dokonano analizy statystycznej z zastosowaniem współczynnika korelacji, współczynnika regresji i równania regresji. Współczynnik korelacji uważano za statystycznie znamienne, jeśli iloczyn między tym współczynnikiem a pierwiastkiem kwadratowym z liczebności próby był większy od 1,96 (7).

## WYNIKI BADAŃ

Wartości wody i elektrolitów w wycinkach z mięśnia prostego brzucha pobranych ze zwłok nie wykazywały większych różnic w porównaniu z wycinkami pobranymi w czasie operacji chirurgicznych (tab. 1). Analizując uzyskane wyniki z punktu widzenia rodzaju schorzenia, które spowodowało zgon chorego (tab. 2), nie obserwowano wyraźniejszych różnic w stężeniu elektrolitów w przypadkach zmarłych z powodu scho-

Tab. 1. Wartości wody i elektrolitów w mięśni szkieletowym badane przez różnych autorów w zestawieniu z badaniami własnymi  
Contents of water and electrolytes in skeletal muscles published by various authors, and our data

	Ilość przyp.	(H <sub>2</sub> O)m	(H <sub>2</sub> O)g	(H <sub>2</sub> O)l	(Cl)m	(Na)m	Ca(m)	(K)m	(K)l	(Mg)m	(Mg)l
Bergström punktaty z mięśni	46	774	164	615	19,4	26,0		101	167		
Iseri i wsp. badania na zwłokach	10	772	235	537	29,7	40,6		94,2	174	4,25	6,8
Talso i Blow wycinki z mięśni	16	733	166	611	19,1	33,7		94,0	153		
Badania własne na zwłokach	36	748 ±21	320 ±55	430 ±55	38,6 ±7,2	46,5 ±9,7	4,8 ±2,1	85,5 ±8,9	197 ±22	18,4 ±2,2	42,0 ±7,0
Badania własne wycinki z mięśni	10	753 ±23	317 ±49	436 ±53	37,1 ±6,9	44,7 ±9,0	4,4 ±1,9	88,2 ±7,0	198 ±20	18,3 ±1,9	40,6 ±7,1

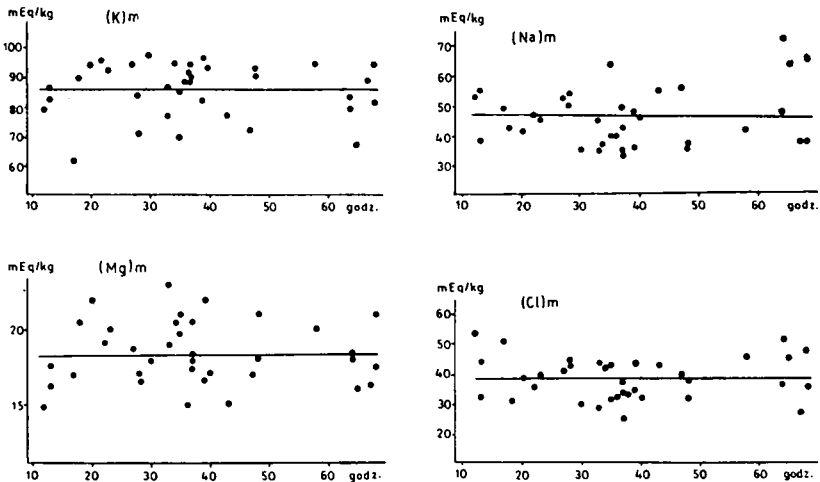
rzeń ośrodkowego układu nerwowego, zawałów serca i urazów, jeśli zgon spowodowany tymi schorzeniami był nagły, a czas od początku poważniejszych zaburzeń funkcji organizmu nie przekraczał kilkunastu godzin. Wykrwawienie spowodowane urazem nie powoduje poważniejszych zmian w wartościach wody i elektrolitów; niewielkie różnice w stosunku elektrolitów pozakomórkowych i komórkowych na korzyść tych ostatnich zaznaczają się tylko w wynikach odnoszonych do świeżej tkanki mięśniowej, natomiast zawartość elektrolitów w „wodzie wewnątrzkomórkowej” utrzymuje się na tym samym poziomie.

Tab. 2. Średnie wartości wody i elektrolitów w mięśni prostym brzucha zestawione wg przyczyn zgonów

Mean values of water and electrolytes in *m. rectus abdominis* in respect to cause of death

Przyczyna zgonu	Ilość przyp.	(H <sub>2</sub> O)/m	(H <sub>2</sub> O)e	(H <sub>2</sub> O)i	(Cl)/m	(Na)/m	(Na/Cl)	(Ca)/m	(K)/m	(K)i	(Mg)/m	(Mg)i
Guz mózgu	10	754	324	430	40,8	45,7	1,12	6,0	84,8	194	19,1	43,7
Uraz z krwotokiem	8	755	329	425	38,7	50,0	1,29	3,7	87,7	207	19,3	45,1
Uraz bez krwotoku	5	766	296	469	34,7	44,3	1,28	4,1	86,6	190	17,8	37,2
<i>Apoplezia cerebri</i>	7	742	313	430	38,1	46,0	1,21	4,5	86,0	197	17,4	39,1
Zawał serca	6	722	332	406	38,6	45,6	1,19	5,0	79,8	192	17,6	41,8
Ogólnie	36	748	320	430	38,6	46,5	1,21	4,8	85,5	197	18,4	42,0

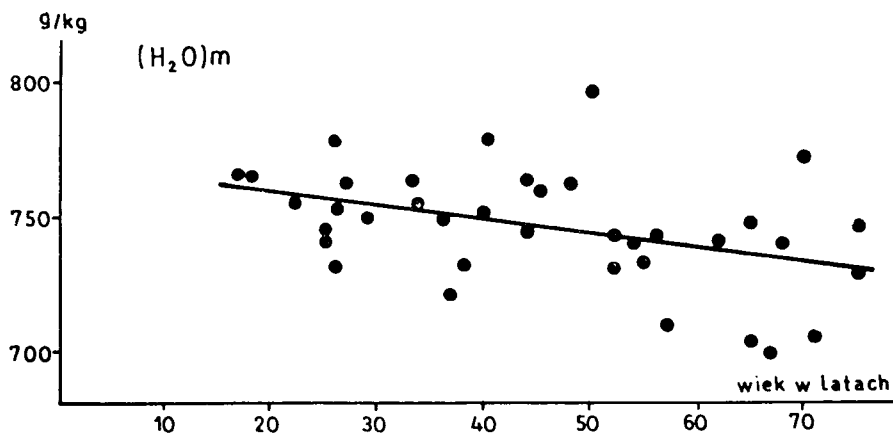
Korelację między zawartością wody i elektrolitów w mięśniach szkieletowych a czasem, jaki upłynął od zgonu do pobrania wycinka przedstawiono w tab. 3 i zilustrowano na ryc. 1. Wszystkie współczynniki korelacji są bardzo zbliżone do zera, a wykreślone na rycinie proste równania regresji wykazują prawie poziomy przebieg. Wskazuje to na małe prawdopodobieństwo, by w granicach od 12 do 70 godz. po zgonie istniała jakakolwiek zależność pomiędzy stężeniem wody i elektrolitów w mięśniach szkieletowych a czasem.



Ryc. 1. Wykresy rozrzutu stężeń elektrolitów w mięśni prostym brzucha w zależności od czasu, jaki upłynął od zgonu

Diagram of scatterings of electrolytes concentrations in *m. rectus abdominis* in relation to the interval from death to the time of estimation

Tab. 3 zawiera również współczynniki korelacji i regresji między zawartością wody i elektrolitów w mięśniu a wiekiem zmarłych. Analizie statystycznej poddano przypadki, w których wiek zmarłych wynosił od 18 do 76 lat. Nie stwierdzono wyraźnego wpływu wieku na elektrolity w mięśniach szkieletowych. Zauważono natomiast wyraźny, znamieny statystycznie spadek zawartości wody ogólnej mięśnia wraz ze wzrostem wieku (ryc. 2). W 4 przypadkach przeprowadzono oznaczenia elektrolitów w wycinkach z mięśnia prostego brzucha, pobranych ze zwłok dzieci w wieku od 5 do 10 lat. W mięśniach szkieletowych dzieci, w porównaniu z wynikami uzyskanymi z analizy mięśni szkieletowych do-



Ryc. 2. Zawartość wody w mięśniu prostym brzucha w zależności od wieku osoby zmarłej

Content of water in *m. rectus abdominis* in relation to the age of deceased persons

Tab. 3. Woda i elektrolity w mięśniu prostym brzucha a czas od zgonu i wiek zmarłych  
Correlation between water and electrolytes in *m. rectus abdominis* and the interval from death to the time of estimation

		(H <sub>2</sub> O)m	(Cl)m	(Na)m	(K)m	(Mg)m	(K)l	(Mg)l
Korelacja z czasem od zgonu	Współczynnik korelacji	-0,049	-0,002	-0,033	-0,049	-0,005		
	Współczynnik regresji	-0,064	-0,001	-0,020	-0,026	-0,001		
Korelacja z wiekiem	Współczynnik korelacji	-0,415*	+0,067	+0,108	-0,222	-0,147	+0,023	+0,032
	Współczynnik regresji	-0,518	+0,028	+0,061	-0,115	-0,025	+0,030	+0,013

\* Współczynnik korelacji statystycznie znamieny.

rosłych, stwierdzono wyraźne różnice w wartościach wody i elektrolitów, polegające na większym uwodnieniu tkanki, dużej zawartości chloru i sodu oraz niskiej zawartości potasu i magnezu odnoszonych do świeżej tkanki mięśnia. Stężenie potasu i magnezu w „wodzie wewnątrzkomórkowej” okazało się bardzo wysokie, blisko dwukrotnie większe w porównaniu z osobnikami dorosłymi.

#### OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

W naszych badaniach stwierdziliśmy dużą zbieżność w zawartości wody i elektrolitów w mięśniach szkieletowych pobranych podczas zabiegów operacyjnych i w mięśniach pobranych ze zwłok. Agonalne i pozgonne przesunięcia elektrolitowe nie są prawdopodobnie tak duże, by mogły wpłynąć w decydujący sposób na zawartość elektrolitów w mięśniach szkieletowych.

Znacznie większe różnice między średnimi prawidłowymi wartościami elektrolitów w mięśniach stwierdza się porównując wyniki uzyskane przez różnych autorów. Te rozbieżności wynikają z różnej techniki pobierania próbek, używania do badań różnych mięśni i użycia różnych metod badania. Dlatego uzyskane w stanach patologicznych wyniki należy zawsze porównywać z grupą osobników zdrowych lub zmarłych nagle, przebadanych ściśle tymi samymi metodami.

Krótkotrwała agonia, spowodowana urazem, zawałem serca, bądź schorzeniem ośrodkowego układu nerwowego, nie wpływa w większym stopniu na wodę i elektrolity w mięśniach szkieletowych. Jak wykazały badania *Walia* i wsp. (20) w agonii notuje się wzrost poziomu potasu w surowicy krwi, który nie przekracza jednak 10 mEq/l. Nawet jeżeli założymy, że wzrost ten zależy wyłącznie od uwalniania potasu z komórek, a nie od zaburzenia czynności nerek, to ucieczka do przestrzeni śródnaczyniowej ok. 20 mEq z ogólnej liczby przekraczającej 3.000 mEq potasu komórkowego (8) nie może w sposób istotny obniżyć poziomu potasu w komórkach.

W czasie pierwszych 70 godz. po zgonie istnieje niewątpliwie proces wyrównywania poziomów elektrolitów po obu stronach błon komórkowych (18). Nie zmieniają się jednak wzajemne stosunki elektrolitów w ogólnej masie mięśnia, gdyż nie ma krążenia krwi i stałej wymiany płynu pozakomórkowego. Należy więc wnosić, że pozgonne badanie zawartości elektrolitów w mięśniach szkieletowych może dość dokładnie informować o stężeniu elektrolitów, jakie istniało w komórkach przed zgonem. Badania elektrolitów w mięśniach szkieletowych nie mogą natomiast służyć do ustalenia czasu śmierci dla celów sądowo-lekarskich.

Duże rozbieżności pomiędzy stężeniem elektrolitów w mięśniach szkieletowych u dzieci i u dorosłych wskazują, że wyników uzyskanych u dzieci nie można porównywać z wynikami uzyskanymi u dorosłych. Mniej więcej po okresie dojrzałości płciowej stężenie elektrolitów w mięśniach szkieletowych nie wykazuje wyraźnych zależności od wieku, natomiast zaznacza się stały, wyraźny spadek uwodnienia tkanki mięśniowej w procesie starzenia, który należy zawsze uwzględniać przy ocenie wyników badań.

#### WNIOSKI

1. Zawartość wody i stężenie elektrolitów w wycinkach z mięśni szkieletowych pobranych po zgonie nie zależą od przyczyny wywołującej zgon.

2. Wartości wody i elektrolitów w mięśniach szkieletowych badanych w czasie pierwszych 3 dni po zgonie nie różnią się w sposób zasadniczy od wartości uzyskanych z badań przyżyciowych.

3. Stężenie elektrolitów w mięśniach szkieletowych jest różne u dzieci i u dorosłych i nie wykazuje wyraźnej zależności od wieku u osobników dorosłych. Zawartość wody w mięśniach szkieletowych wykazuje stały spadek w miarę wzrostu wieku.

4. Badania elektrolitów w wycinkach z mięśni szkieletowych pobranych w pierwszych 3 dobach po zgonie mogą służyć do oceny zaburzeń elektrolitowych, powstałych przed zgonem.

---

#### PIŚMIENNICTWO

1. Bergström J.: Muscle Electrolytes in Man. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, **14**, suppl. 68, 1962.
2. Carr M. H., Frank H. A.: *Am. J. Clin. Path.*, **26**, 1157—1168, 1956.
3. Carubelli R., Smith W. O., Hammarsten J. F.: *Clin. Chem.*, **5**, 45—49, 1959.
4. Cort J. H.: *Pol. Arch. Med. Wewn.*, **28**, 499—502, 1958.
5. Durlacher S. H., Freimuth H. C., Swan H. E.: *A. M. A. Arch. Path.*, **56**, 454—456, 1953.
6. Flear C. T., Florence I.: *Clin. Chim. Acta*, **6**, 129—135, 1961.
7. Freund J. E.: *Modern Elementary Statistics*. Englewood Cliffs 1962.
8. Hoffman W. S.: *The Biochemistry of Clinical Medicine*. Chicago 1960.
9. Iseri L. T., Alexander L. C., McCaughey R. S., Boyle A. L., Myers G. B.: *Am. Heart J.*, **43**, 215—224, 1952.
10. Iseri L. T., Boyle A. J., Chandler D. E., Myers G. B.: *Circulation*, **11**, 615—619, 1955.
11. Jakliński A.: *Badania doświadczalne nad ustaleniem czasu śmierci na podstawie stężenia składników nieorganicznych w płynie mózgowo-rdzeniowym*. Lublin 1962. Praca habilitacyjna.

12. Jakliński A.: Pol. Tyg. Lek., 17, 1499—1503, 1962.
13. Mastyńska M., Pezacki Z., Hierowski M.: Pol. Tyg. Lek., 13, 1117—1120, 1958.
14. Moore F. D.: New England J. Med., 258, 277—285, 325—332, 427—432, 1958.
15. Mudge G., Vislocky K.: J. Clin. Invest., 28, 482—487, 1949.
16. Nichols G., Nichols N., Weil W. B., Wallace W. M.: J. Clin. Invest., 32, 1299—1308, 1953.
19. Pearse A. G.: Składniki nieorganiczne [w] Histochemia teoretyczna i stosowana. Warszawa 1957.
18. Pezacki W.: Zmiany poubojowe surowców rzeźnych. Warszawa 1961.
19. Schales O., Schales S. S.: J. Biol. Chem., 140, 879—884, 1941.
20. Walia B. N., Chandra R. K., Sarin G. S., Quai O. P.: Lancet, 1, 1187—1188, 1963.
21. Wienfield J. M., Fox C. L., Mersheimer W. L.: Ann. Surg., 134, 626—629, 1951.
22. Yannet H., Darrow D. C.: J. Biol. Chem., 134, 721—737, 1940.

Pracę otrzymano 22 II 1965.

---

## РЕЗЮМЕ

Исследовано содержание  $H_2O$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  и  $Ca^{++}$  в отрезках скелетных мышц, взятых после смерти в сравнении с результатами полученными при анализе отрезков, взятых из живого организма. Во время исследований была принята во внимание причина смерти, возраст и время, прошедшее с момента смерти. Установлено, что посмертные исследования могут применяться при оценке электролитического расстройства возникшего перед смертью. Болезнь как причина скоропостижной смерти и возраст людей не имеют влияния на содержание электролитов в скелетных мышцах. Содержание воды в скелетных мышцах снижается с возрастом человека.

Рис. 1. Диаграмма дисперсии концентрации электролитов в прямой мышце живота в зависимости от времени истекшего после смерти.

Рис. 2. Содержание воды в прямой мышце живота в зависимости от возраста.

Табл. 1. Содержание воды и электролитов в скелетной мышце по разным авторам в сопоставлении с собственными исследованиями.

Табл. 2. Средние содержания воды и электролитов в прямой мышце живота составленные в зависимости от причин смерти.

Табл. 3. Вода и электролиты в прямой мышце живота в сопоставлении с временем, истекшим после смерти и возрастом.

---



## SUMMARY

Levels of  $H_2O$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  and  $Ca^{++}$  in skeletal muscles of deceased persons and living men were determined. The data obtained were examined in correlation with the cause of death, age and the interval from death to the time of estimation. It was found that post-mortem examination might serve to evaluate electrolyte disturbances which had existed during life. The kind of disease which caused death and the age of adults have no significant effect on the content of electrolytes in the skeletal muscles. Water content in the skeletal muscles was found to diminish with age.

